

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

мальной деятельности значительного количества городских жителей.

К III категории относят все остальные электроприемники, не вошедшие в определение I и II категорий.

В жилых зданиях к первой категории относятся пожарные насосы, устройства дымозащиты и другие противопожарные устройства, лифты, эвакуационное и аварийное освещение домов высотой 17 этажей и более. Остальные группы электроприемников в этих зданиях относятся ко II категории. Кроме того, к I категории относятся огни светового ограждения этих зданий, устанавливаемые в районах, определяемых службами гражданского воздушного флота. Электроприемники отдельно стоящих центральных тепловых пунктов (ЦТП), снабжающих теплом жилые дома и общежития высотой 17 этажей и более, относятся к первой категории. Центральные тепловые пункты, обслуживающие дома и общежития высотой 16 этажей и менее, — ко II категории. Электроприемники ЦТП, предназначенные для теплоснабжения нескольких зданий, должны питаться не менее чем двумя отдельными линиями от трансформаторных подстанций. Присоединение к этим линиям других электроприемников не допускается. Питание электроприемников тепловых пунктов, встроенных в здание и предназначенные для теплоснабжения данного здания, допускается осуществлять отдельными линиями от вводно-распределительного устройства (ВРУ) здания. При отсутствии технологического резервирования электроприемников требуется установка устройств автоматического ввода резерва (АВР) на вводах.

В домах высотой от 6 до 16 этажей с плитами на газовом и твердом топливе, а также электроприемники в домах любой этажности с электроплитами и электронагревателями, кроме одно-, восьмиквартирных домов, относятся ко II категории. К этой же категории относятся электроприемники общежитий с числом проживающих 50 чел. и более.

Электроприемники всех других жилых зданий и общежитий, включая дома на садовых участках, относятся к III категории.

В общественных зданиях к I категории относятся электродвигатели пожарных насосов, электродвигатели и другие электроприемники противопожарных устройств, систем пожарной и охранной сигнализации, лифты организаций и учреждений управления, партийных, комсомольских и других общественных организаций, проектных и конструкторских организаций, учреждений финансирования, кредитова-

ния и государственного страхования, архивов и т. п. при высоте зданий 17 этажей и более, а также независимо от этажности перечисленные электроприемники учреждений управления, проектных и конструкторских организаций с количеством работающих 2000 чел. и более, библиотек, книжных палат и архивов на 1 млн. единиц хранения и выше, учебных заведений при числе учащихся свыше 1000 чел., предприятий торговли с общей площадью торговых залов 2000 м² и более, столовых, кафе и ресторанов с числом мест свыше 500, гостиниц при числе мест свыше 1000 (любой этажности). Кроме того, к I категории относятся вышеуказанные электроприемники музеев, выставочных залов областного и республиканского значения и весь комплекс электроприемников музеев, выставочных залов союзного значения. К I категории относятся электроприемники операционных, отделений реанимации, родильных, неотложной помощи и других аналогичных помещений больниц, от бесперебойной работы которых зависит жизнь больных. К этой же категории относятся комплексы электроприемников междугородных телефонных станций, центральных телеграфов, городских АТС, тяговые подстанции системы централизованного электроснабжения (подстанции децентрализованного электроснабжения относятся к третьей категории), ЭВМ вычислительных центров, решающих комплекс народнохозяйственных проблем и задачи управления отдельными отраслями, а также обслуживающих технологические процессы, основные электроприемники которых относятся к I категории. Центральный диспетчерский пункт городской электрической сети, тепловой сети, сети газоснабжения, водопроводно-канализационного хозяйства и сети наружного освещения, пункты централизованной охраны также относятся к I категории. К этой же категории относятся водопроводные насосные станции в городах с числом жителей более 50 тыс. человек, канализационные насосные станции, не имеющие аварийного выпуска или с аварийным выпуском при согласованной продолжительности сброса менее двух часов, и городской ЦП (РП) с суммарной нагрузкой более 10 000 кВт·А.

Комплекс остальных электроприемников вышеуказанных зданий и сооружений относится ко II категории.

Ко II категории относятся комплексы электроприемников жилых и общественных зданий меньшей этажности или вместимости, за исключением электроприемников одно- или двухэтажных зданий административно-общественного назна-

чения с числом сотрудников до 50 (кроме партийных органов и исполнительных комитетов народных депутатов), библиотек до 100 тыс. единиц хранения, учебных заведений до 200 учащихся, магазинов с площадью торговых залов 250 м² и менее, столовых и кафе до 100 мест, гостиниц при числе мест до 200, которые относятся к III категории.

В предприятиях бытового обслуживания ко II категории относятся комплексы электроприемников салонов-парикмахерских с количеством рабочих мест 100 и более, ателье, комбинатов с числом рабочих мест 50 и более, прачечных и химчисток производительностью в смену 400 кг и более. Электроприемники прочих бытовых предприятий относятся к III категории.

Электроприемники детских садов и яслей относятся ко II категории.

В зрелищных предприятиях к I категории относятся аварийное и эвакуационное освещение, пожарные насосы, автоматическая пожарная сигнализация и системы дымозащиты при вместимости зрительного зала 800 чел. и более, а также электроприемники (независимо от вместимости) дворцов и домов пионеров. Электроприемники электроприводов сценических механизмов при количестве электроприводов 10 и менее и вместимости залов 800 чел. и менее относятся к III категории. Все остальные электроприемники зрелищных предприятий относятся ко II категории.

Электроприемники конференц-залов и актовых залов со стационарными кинопроекторными установками и эстрадами во всех видах общественных зданий, кроме постоянно используемых для платных зрелищных мероприятий, относятся к той же категории, что и другие электроприемники зданий, в которые они встроены.

Приведенный перечень не исчерпывает всех видов зданий и учреждений общественного назначения, поэтому при определении категории надежности электроснабжения необходимо руководствоваться нормативными документами.

Электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников, и перерыв в их электроснабжении может быть допущен лишь на время действия устройств АВР.

Независимым источником электроснабжения называется источник питания данного объекта, на котором сохраняется напряжение при исчезновении его на других источниках. К таким источникам питания относятся РУ двух электростанций или центров питания, а также две секции сбор-

ных шин электростанций или подстанций при условии, что каждая секция, в свою очередь, имеет питание от независимого источника, причем эти секции не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключаемую при нарушении работы одной из секций. Например, две секции шин двухтрансформаторной подстанции, подключенной к двум секциям центра питания, могут считаться независимыми источниками. Это же относится к питанию от двух-, однотрансформаторных подстанций, если они присоединены к независимым источникам.

Для электроприемников II категории допускаются перебои в электроснабжении на время, необходимое для включения резервного питания выездной оперативной бригадой энергосистемы или дежурным персоналом. Однако и для электроснабжения потребителей II категории рекомендуется устройство АВР, если применение этого устройства увеличивает капитальные вложения в сеть не более чем на 15 % или если эти затраты окупаются за 5—8 лет. (Это равнозначно увеличению приведенных затрат не более чем на 5 %.)

Воздушные линии до 1 кВ, питающие электроприемники жилых и общественных зданий, рекомендуется осуществлять нерезервируемыми. Допускается резервирование питания электроприемников II категории при аварии путем устройства перемычек на стороне низкого напряжения шланговым кабелем длиной до 50 м.

Электроприемники II категории могут питаться от однотрансформаторной подстанции при наличии резервного трансформатора на складе владельца ТП и обеспечении замены трансформатора за время не более 1 сут.

Электроприемники III категории допускают перерывы в электроснабжении для выполнения ремонтных работ или замены поврежденного элемента сети на срок не более 1 сут.

При невозможности по местным условиям осуществить питание электроприемников I категории от двух независимых источников, что бывает в небольших городах, нормы разрешают питание их от разных трансформаторов двухтрансформаторных подстанций или от трансформаторов двух ближайших подстанций, присоединенных к разным линиям 6—10 кВ, с устройством АВР на стороне низшего напряжения. Возможно также автоматическое переключение на местные источники (аккумуляторные батареи, дизельные электростанции).

В зрелищных предприятиях с большими скоплениями

людей наряду с устройством электроснабжения по I категории иногда также применяется автоматическое переключение эвакуационного и аварийного освещения на питание от местного источника на случай выхода из строя всей системы электроснабжения.

Выполнение упомянутых требований к надежности электроснабжения ответственных электроприемников невозможно без применения специальных средств автоматизации. Следует также отметить, что во многих случаях средства автоматизации не только обеспечивают надежность электроснабжения, но и выполняют ряд функций по обеспечению высокого качества электроэнергии (напряжение, частота), имеющих важное значение для правильной работы многих бытовых и промышленных электроприемников.

Средства автоматизации и телемеханики за последние годы получили широкое распространение как в системах электроснабжения промышленных предприятий, так и в городских электрических сетях. Из различных устройств автоматизации рассмотрим наиболее важные и часто встречающиеся — автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматическое включение резерва (АВР).

Автоматическое повторное включение предназначено для быстрого автоматического восстановления питания после самоликвидации весьма кратковременных коротких замыканий в воздушных и кабельных линиях и других элементах электрических сетей. Такие короткие замыкания вызываются: на воздушных линиях — случайными набросами и склестыванием проводов, перекрытиями проводов птицами и при атмосферных перенапряжениях; на кабельных линиях — пробоями между жилами в кабелях и кабельных муфтах с последующим заплыванием места повреждения кабельной массой; на подстанциях — коммутационными перенапряжениями, вызывающими перекрытие сборных шин, неправильными операциями с разъединителями, ложными срабатываниями газовой защиты на трансформаторах при кратковременных перегрузках.

Как показывает опыт эксплуатации, при кратковременных коротких замыканиях изоляция быстро восстанавливается и отключившаяся линия при повторном включении остается в работе. Устройство АПВ позволяет сократить простои оборудования, убытки от которых во много раз больше, чем стоимость оборудования АПВ. Устройства АПВ бывают одно-, двух- и многократного действия. Широко распространена система АПВ однократного действия, как

наиболее простая и эффективная. Статистика показывает, что успешное действие второго включения составляет обычно не более 15—16 %, а третьего — не более 3 %.

Чаще всего АПВ применяют на воздушных и кабельных линиях напряжением выше 1 кВ. Как показывают статистические данные, при помощи АПВ удается восстановить электроснабжение в 60—90 % от общего числа аварийных отключений воздушных линий.

Одним из наиболее эффективных способов обеспечения надежного питания потребителей электроэнергии является автоматическое включение резерва АВР.

В зависимости от требований к надежности электроснабжения, схемы распределения энергии, экономических и других факторов АВР осуществляется на стороне высшего (выше 1 кВ) или на стороне низшего (до 1 кВ) напряжения.

Схемы АВР строят с применением холодного или горячего резерва. В первом случае предусматривается подключение при аварии элемента сети (линии, трансформатора), который в нормальном режиме не работает и находится в резерве. Во втором случае резервный элемент в нормальном режиме находится в работе, но в необходимых случаях принимает на себя дополнительную нагрузку. Такой элемент сети должен быть рассчитан на питание как основной нагрузки, так и дополнительной с учетом допустимой перегрузки при аварийном режиме, установленной ПУЭ.

В системах электроснабжения чаще применяют системы с горячим резервом, как наиболее экономичные по расходу аппаратуры и цветного металла на питающие линии.

Устройства АВР бывают одно- и двухстороннего действия. Примером одностороннего АВР может служить схема, в которой при выходе из строя основного ввода включается резервный. Пример двухстороннего АВР — включение секционного выключателя при выходе из строя любой из двух питающих и взаимно резервирующих линий.

В некоторых схемах электроснабжения находит широкое применение двух- или лучевая система сетей высокого напряжения с АВР на стороне низшего напряжения. Такая схема осуществляется при помощи контакторных станций и обходится значительно дешевле, чем АВР на стороне высшего напряжения.

Место установки АВР централизовано на вводе в здание или децентрализовано около электроприемников, определяется в проекте в зависимости от взаимного расположе-

ния и условий прокладки питающих линий до удаленных электроприемников. Децентрализованная установка АВР обеспечивает большую надежность, однако в большинстве случаев экономически не оправдывается.

6.2. ГОРОДСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Система электроснабжения города представляет собой совокупность электрических сетей всех применяемых напряжений. Она включает электроснабжающие сети (линии напряжением 35 кВ и выше), понижающие подстанции (их часто называют центрами питания) напряжением 35—110/6—10 кВ, распределительные сети (линии напряжением 6—10 кВ и 0,4/0,23 кВ) и трансформаторные подстанции (6—10/0,4 и 0,4/0,23 кВ).

Для принятия той или иной системы построения электрической сети необходимо учитывать мощность и число потребителей, их взаимное расположение, расстояние от питающего центра, требования по уровню и надежности электроснабжения. Кроме того, схема сети должна обеспечивать наиболее экономичное решение по капитальным вложениям и эксплуатационным расходам.

Во многих городах проектируются распределительные пункты (РП) 10 кВ, предназначенные для распределения энергии по подстанциям 10/0,4 кВ. Иногда такие РП совмещаются с одной из ТП 10/0,4 кВ. В этом случае они называются РТП. Целесообразность устройства РП определяется экономическими расчетами.

При разработке генерального плана города или поселка должны рассматриваться основные вопросы электроснабжения, включая баланс электрических нагрузок всех потребителей и источники их покрытия с учетом перспективы развития системы электроснабжения.

Построение системы электроснабжения должно быть таким, чтобы в нормальном режиме все элементы системы находились под нагрузкой с максимально возможным использованием их пропускной способности.

При реконструкции действующих сетей необходимо максимально использовать существующие сетевые сооружения.

Электрической сетью называется совокупность подстанций и линий различных напряжений для передачи и распределения электроэнергии.

К городским электрическим сетям относятся:

электроснабжающие сети напряжением 110 (35) кВ

и выше, включая кольцевые сети с понижающими подстанциями, линии и подстанции глубоких вводов;

распределительные сети напряжением 10 (6)—20 кВ, включая трансформаторные подстанции (ТП) и линии, соединяющие центры питания (ЦП) с ТП и ТП между собой, и вводы к потребителям;

распределительные сети напряжением до 1 кВ.

При наличии промежуточного элемента — распределительного пункта (РП) в состав распределительной сети напряжением 10(6) — 20 кВ входят также РП и питающие линии, соединяющие РП с ЦП.

Электрические сети подразделяют по ряду признаков. По *виду тока* различают электрические сети переменного и постоянного тока. В соответствии с ПУЭ электрические сети подразделяются по напряжению на сети до 1 и свыше 1 кВ. Электрические сети переменного тока в СССР имеют следующие стандартные номинальные напряжения: 127, 220, 380, 660 В; 3, 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500 и 750 кВ. Сооружаются линии электропередачи переменного и постоянного токов напряжением свыше 1000 кВ.

Для компенсации потери напряжения в проводах линий и обмотках трансформаторов номинальные напряжения генераторов и вторичных обмоток трансформаторов установлены на 5 % выше соответствующих номинальных напряжений электроприемников.

Для сетей местного освещения и в некоторых других случаях для обеспечения безопасности применяют напряжения 12—42 В.

По принципу построения сети подразделяют на разомкнутые (рис. 6.1) и замкнутые с одним (рис. 6.2), двумя (рис. 6.3) или несколькими источниками питания. По месту прокладки различают наружные и внутренние сети. Городские (коммунальные) электросети общего пользования, как правило, выполняют на напряжение 6 или 10 кВ (в перспективе в крупных городах — 20 кВ) и 380/220 В. Наружные сети бывают воздушные и кабельные (подземные).

Схемы электрических сетей. Распределение электроэнергии осуществляется по радиальным, магистральным и смешанным схемам. При *радиальных* каждая подстанция питается отдельными линиями, при *магистральных* к одной линии можно присоединить группу из нескольких городских трансформаторных подстанций. Радиальные схемы электроснабжения надежны, но они требуют большего расхода проводов и кабелей, а также высоковольтной аппаратуры;

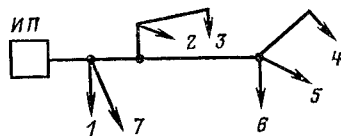


Рис. 6.1. Разомкнутая сеть:
ИП — источник питания; 1—7 — потребители электроэнергии

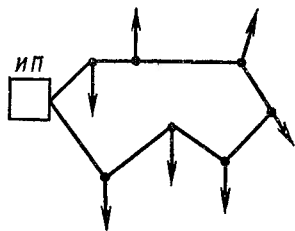


Рис. 6.2. Замкнутая сеть с одним источником питания

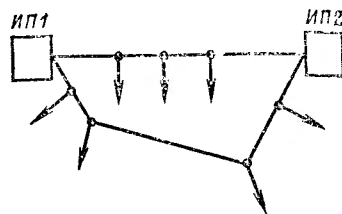


Рис. 6.3. Замкнутая сеть с двумя источниками питания

стоимость сетей значительно выше, чем при магистральной схеме. В крупных городах применяются радиальные и магистральные схемы в зависимости от требований к надежности электроснабжения присоединенных потребителей.

Городские электрические сети напряжением 6—10 кВ характерны тем, что в любом из микрорайонов могут оказаться потребители всех категорий по надежности электроснабжения. Естественно, это требует и надлежащего построения схемы сети. Для подключения городских подстанций с двумя трансформаторами номинальной мощностью до 630 кВ·А часто применяют двухлучевую схему с АВР на стороне низшего напряжения с контактной автоматикой (рис. 6.4). При выходе из строя одного из лучей высшего напряжения или трансформатора нагрузка автоматически переключается на неповрежденный кабель и второй трансформатор¹. Двухлучевая схема с АВР на стороне низшего напряжения имеет значительные преимущества, надежна в эксплуатации, обладает быстродействием (переключение производится за 0,2—0,3 с, тогда как АВР на стороне высшего напряжения включается за 1—1,5 с). Кроме того, эта схема является самовосстанавливающейся: при

¹ На подстанциях с трансформаторами мощностью до 400 кВ·А для АВР применяются контакторы на ток 630 А, а при мощности 630 кВ·А — на ток 1000 А. В некоторых схемах для устройства АВР используют автоматические выключатели.

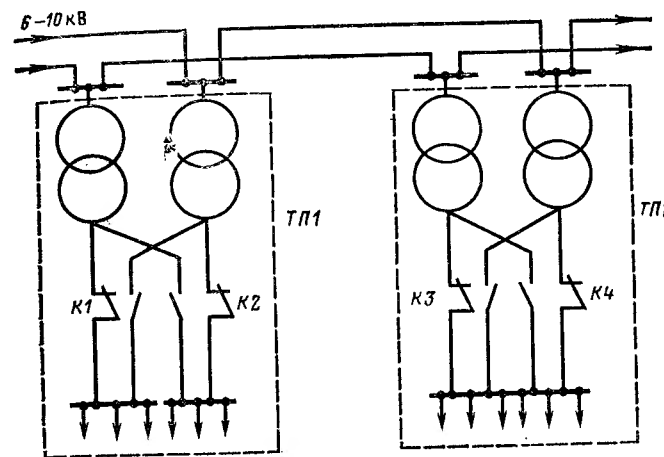


Рис. 6.4. Двухлучевая магистральная схема сети высокого напряжения с контактной автоматикой (АВР) на стороне низкого напряжения

возникновении напряжения на отключившейся линии (луче) схема приходит в исходное положение без участия обслуживающего персонала.

Двухлучевая схема обходится несколько дороже петлевой с резервными перемычками, применяемой в небольших и средних городах. При петлевой схеме (рис. 6.5)

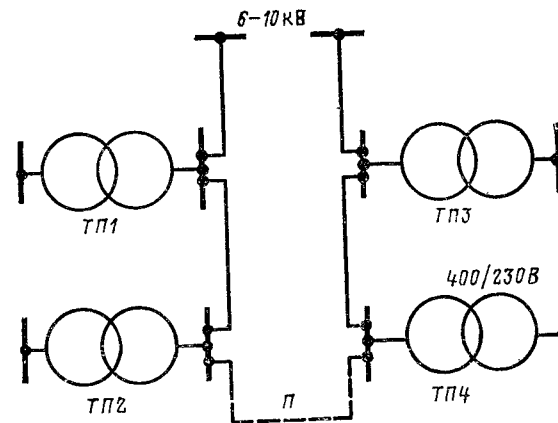


Рис. 6.5. Схема петлевой сети 6—10 кВ

переключение производится вручную выездным персоналом, а ответственные объекты приходится выделять на отдельные линии.

В экспериментальном порядке в некоторых городах сооружаются и эксплуатируются участки сетей по замкнутой схеме, которые имеют высокую степень надежности и большую пропускную способность, но требуют несколько большего расхода цветного металла, сложны в эксплуатации, требуют применения специальных видов релейной защиты. Для питания потребителей I категории приходится принимать специальные меры.

Провода. В электрических сетях применяют неизолированные и изолированные провода. Неизолированные провода используют преимущественно на воздушных линиях, изолированные — для открытых и скрытых проводов внутри здания. *Неизолированные* провода изготавливают из меди, алюминия, стали и их сплавов. Они бывают однопроволочными и многопроволочными. При равных сечениях многопроволочные провода более гибки, чем однопроволочные, и поэтому удобнее в монтаже. Кроме того, они прочнее и устойчивее к вибрациям, возникающим при сильном ветре. Медные провода имеют преимущества по сравнению с алюминиевыми. Они лучше противостоят атмосферным воздействиям, но из-за дефицита меди их применение строго лимитируется. Стальные провода обладают низкой проводимостью $\gamma_{\text{ст}} = 7,52 \text{ м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$, их сопротивление зависит от значения пропускаемого тока, что обусловлено сильным влиянием поверхностного эффекта и наличием потерь на перемагничивание и вихревые токи. Их применяют для передачи незначительной мощности, главным образом в небольших населенных пунктах и сельской местности. Сталеалюминиевые провода со стальным сердечником и алюминиевой токоведущей оболочкой имеют высокую прочность и применяются при сооружении ЛЭП напряжением 35 кВ и выше. Неизолированные провода маркируются следующим образом: М 25 — медный сечением 25 мм², А 70 — алюминиевый сечением 70 мм², АС 120 — сталеалюминиевый сечением 120 мм², ПС 50 — стальной сечением 50 мм².

Изолированные провода имеют жилы, заключенные в изоляционную оболочку. Бывают провода незащищенные, для неподвижной прокладки, у которых изоляция не защищена от механических и химических воздействий; защищенные — с дополнительной защитной оболочкой для неподвижных прокладок.

Кабели состоят из одной или нескольких скрученных изолированных жил, заключенных в герметическую металлическую, резиновую или пластмассовую оболочку. Защитные оболочки предохраняют изоляцию от вредных воздействий влаги, различных кислот и т.п. Кабели изготавливают одно-, двух-, трех- и четырехжильными. Для прокладки в грунте и других местах, где требуется защита от механических повреждений, применяют кабели с броней из стальной ленты, покрываемой для защиты от коррозии битумными компаундами. Поверх брони навиты один или два слоя джутовой пряжи, пропитанной смесью каменноугольного дегтя и смолы. Согласно ГОСТ кабели маркируются так: АСБ1 — (3×50+1×25) — кабель бронированный (Б), со свинцовой оболочкой и алюминиевыми жилами (АС), четырехжильный сечением трех жил по 50 мм² и четвертой 25 мм² на напряжение 1 кВ. Кабели выпускают на номинальное напряжение 1, 3, 6, 10 кВ и выше, с диапазоном сечений при напряжении: 6 кВ (10—240 мм²), 10 кВ (16—240 мм²), 1 кВ (4—185 мм²). В четырехжильных кабелях на напряжение до 1 кВ сечение четвертой жилы равно примерно от 1/3 до 1/2 сечения основных токопроводящих жил. Существует ряд марок кабелей с пластмассовой изоляцией без брони, но с достаточно прочной оболочкой, которые разрешается прокладывать в грунтах. Для сетей напряжением 110 кВ и выше применяются специальные маслонаполненные кабели.

Изоляция проводов и кабелей, применяемых в электросетях, должна соответствовать номинальному напряжению, а защитные оболочки — способу прокладки.

Воздушные электрические линии широко распространены в небольших городах и сельской местности вследствие их меньшей стоимости по сравнению с кабельными и простоты обслуживания. Их недостатки — возможность повреждения вследствие воздействий ветра, гололеда, ударов молнии. Воздушные линии опасны для людей при обрыве проводов. Кроме того, они ухудшают внешний вид городских улиц и площадей, мешают транспорту, создают опасность аварий, поэтому в крупных и средних городах, как правило, применяют кабельные линии.

Механическая прочность воздушных линий обеспечивается соответствующим выбором сечения и натяжения проводов, типов изоляторов и конструкций опор на основании расчета, который рассматривается в специальных курсах. Трассу линии следует выбирать по возможности кратчай-

шей, с наименьшим числом поворотов и углов. Опоры не должны мешать подъезду машин к зданиям и движению пешеходов. В местах, где имеется возможность наезда, опоры должны быть защищены отбойными тумбами. Основными конструктивными элементами воздушной линии являются опоры, провода и изоляторы.

Опоры бывают промежуточные, анкерные, угловые, концевые и т. д. Промежуточные служат для поддержания проводов на прямых участках трассы между двумя анкерными опорами. Анкерные предназначены для жесткого закрепления проводов. Они должны быть более прочными, так как при обрыве проводов с одной стороны линии они воспринимают одностороннее натяжение проводов анкерного пролета, длина которого принимается от 5 до 10 км в зависимости от сечения проводов и климатических условий. Анкерные опоры устанавливаются при пересечении воздушной линией различных дорог и сооружений. Угловые служат для изменения направления трассы. В нормальных условиях они воспринимают равнодействующую натяжения проводов смежных пролетов. Концевые устанавливают в начале и конце линии. Они обычно анкерного типа и воспринимают одностороннее натяжение.

Для воздушных линий применяют опоры деревянные, железобетонные и деревянные с железобетонными приставками. Для линий напряжением 110 кВ и выше применяют металлические опоры из сортовой стали. Деревянные изготовляют в основном из сосновых бревен со снятой корой и специальной пропиткой древесины против загнивания. Железобетонные при индустриальном методе изготовления долговечны и более рациональны. В зависимости от напряжения и места прохождения для воздушных линий ПУЭ установлен определенный габарит, т. е. наименьшее расстояние H по вертикали от нижней точки провода до земли или воды (рис. 6.6), а также ряд других обязательных размеров, которые следует выдерживать при пересечениях и сближениях воздушных линий между собой, с контактными проводами электротранспорта, с линиями связи, зданиями и сооружениями. Регламентированы также и минимально допустимые сечения и условия крепления проводов в зависимости от напряжения и места прохождения линии.

Провода воздушной линии закрепляют на опорах с помощью изоляторов. Для линий напряжением до 35 кВ применяют штыревые изоляторы различных типов, устанавливаемые на крюках или траверсах. В сетях более высокого

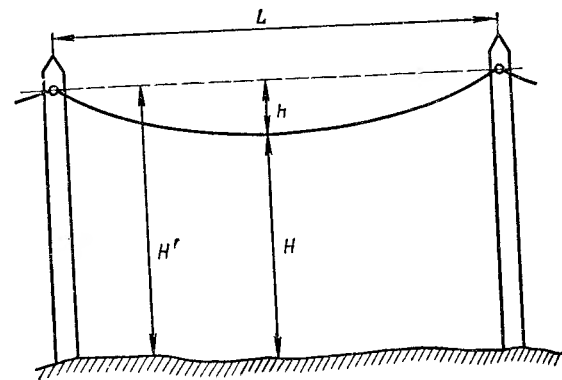


Рис. 6.6. Габариты воздушной линии:

L — длина пролета; h — стрела провеса; H — габарит линии; H' — высота подвеса

напряжения применяют подвесные изоляторы, которые набирают в гирлянды. Число подвесных изоляторов в гирляндах зависит от напряжения линии.

Кабельные линии. Силовые кабели применяют для подземной и подводной передач и распределения энергии на высоком и низком напряжениях. Основными достоинствами являются высокая надежность электроснабжения, отсутствие загромождения улиц городов и территорий предприятий, почти полная независимость от атмосферных условий.

Трассу выбирают с учетом наименьшего расхода кабеля и обеспечения его сохранности от механических повреждений при раскопках, от коррозии, перегрева и т. д. Кабельные линии прокладывают в траншеях по непроезжей части улиц (под тротуарами), по дворам и т. д. Это наиболее дешевый и простой вид прокладки. Кабель не должен проходить под существующими или предполагаемыми к постройке зданиями и сооружениями, под проездами, насыщенными подземными коммуникациями. При внутриквартальных прокладках в крупных городах кабели прокладывают в специальных проходных коллекторах, допускается совместная прокладка силовых кабелей до 10 кВ, кабелей связи и сантехнических коммуникаций в общем коллекторе при соблюдении определенных технических требований. Кабели на напряжение до 1 кВ можно прокладывать и внутри технических подпольй жилых домов.

В местах пересечения улиц с усовершенствованным по-

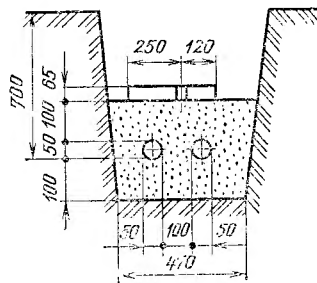


Рис. 6.7. Схема прокладки двух кабелей в траншее

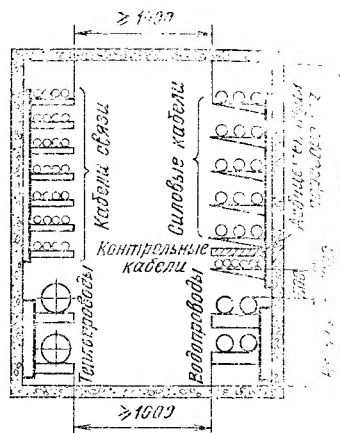


Рис. 6.8. Прокладка кабельных линий в совмещенном коллекторе

крытием, а также различных трубопроводов (водопровод, теплопровод), кабелей связи силовые кабели прокладывают в асбоцементных трубах или железобетонных блоках с соблюдением расстояний между кабелями и другими коммуникациями, установленных ПУЭ. В четырехпроводных сетях переменного тока напряжением до 1 кВ разрешается использовать алюминиевую оболочку кабелей в качестве рабочего нулевого провода (за исключением установок во взрывоопасной среде, а также установок, в которых нормальных условиях ток в нулевом проводе составляет более 75 % тока фазного провода). Внутри зданий и в помещениях прокладывают кабели без внешней джутовой оболочки на конструкциях и лотках, а также в специальных шкафах и паллах. Строительными нормами и правилами установлены ряд технических требований на прокладку кабельных линий.

На рис. 6.7 приведена схема прокладки кабеля в траншее, а на рис. 6.8 — в подземном коллекторе.

6.3. ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ

Трансформаторной подстанцией (ТП) называется электрическая установка для преобразования и распределения электроэнергии. В зависимости от положения в сети элект-

росистемы понижающие подстанции подразделяют на районные и местного значения.

Районные подстанции имеют первичное напряжение 500, 220, 110 кВ и вторичное 220, 110, 35, 10, 6 кВ. Подстанции, питающие мелкие промышленные и городские бытовые нагрузки, имеют первичное напряжение 6—10 кВ и вторичное 0,4/0,23 кВ. Их оборудование состоит из одного или нескольких силовых трансформаторов распределительных устройств, первичного и вторичного напряжений и устройств управления, защиты и сигнализации.

Трансформаторные подстанции выполняют отдельно стоящими, пристроенными, т.е. примыкающими к зданию, встроенными в него, внутрицеховыми, располагающимися непосредственно внутри производственного помещения. Кроме того, в небольших поселках и сельской местности сооружаются открытые мачтовые подстанции, на которых устанавливают силовые трансформаторы мощностью до 100 кВ·А. Опорные конструкции таких подстанций обычно деревянные, но могут быть и железобетонные.

Широко распространены комплектные трансформаторные подстанции (КТП), изготавливаемые на заводе и доставляемые на место установки в собранном виде или в виде блоков, подготовленных для сборки. В крупных городах применяют БКТП — блочные комплектные подстанции из объемных железобетонных элементов, изготавливаемых на заводе. Их вместе со смонтированным оборудованием (кроме трансформаторов) доставляют на место строительства и устанавливают на заранее подготовленную площадку. Такие подстанции прочны, долговечны и удобны в условиях городской застройки.

В ПУЭ установлен ряд требований к конструкциям, размещению, оборудованию подстанций. Отметим наиболее важные из них.

1. Подстанции не разрешается встраивать в жилые здания, школы, больницы, спальные корпуса санаториев из-за создаваемого ими шума. Так как трансформаторы с масляным заполнением взрывоопасны, их не разрешается размещать под и над помещениями, в которых могут находиться более 50 чел. При установке трансформаторов сухих или с негорючим наполнителем соблюдение этого требования не обязательно.

2. Подстанции не допускается размещать под помещениями производств с мокрым технологическим процессом, душевыми, ванными и т.д. Исключения возможны лишь при

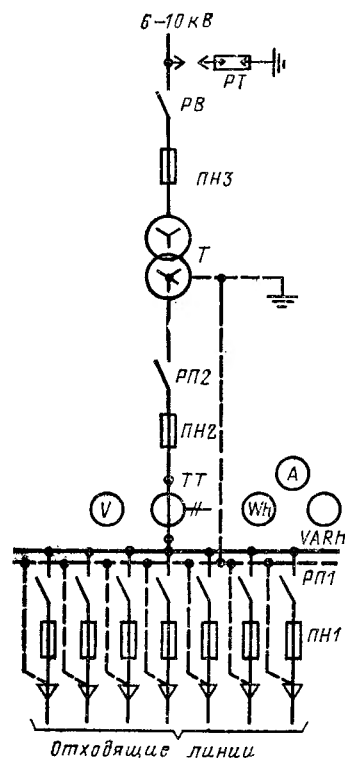


Рис. 6.9. Схема однотрансформаторной концевой подстанции

рактором присоединяемых потребителей. На городских ТП устанавливают трансформаторы мощностью до 630 кВ·А. Для электроснабжения потребителей I категории сооружают двухтрансформаторные, II категории — одно- и двухтрансформаторные и III категории — однотрансформаторные подстанции.

На рис. 6.9 представлена однолинейная схема простейшей однотрансформаторной подстанции с воздушным вводом. Схема обеспечивает присоединение трансформатора к сети напряжением 6—10 кВ через разъединитель РВ и предохранители ПНЗ типа ПК 6—10. Разъединитель предназначен для отключения трансформатора Т мощностью до 400 кВ·А при отключенной нагрузке (для этого

перекрытиях из монолитного бетона и надежной гидроизоляции. Необходимо применять меры защиты ТП от возможных повреждений при расположении в непосредственной близости от путей крайних и внутрицехового транспорта.

3. На внутрицеховых ТП допускается устанавливать не более трех масляных трансформаторов суммарной мощностью до 2000 кВ·А. При установке на втором этаже их мощность не должна превышать 630 (750) кВ·А. Мощность пристроенных ТП не ограничивается. Установка разрыв между отдельно стоящими ТП и смежными зданиями. Так, до жилых и общественных зданий от ТП при I и II степенях огнестойкости соседнего здания по противопожарным нормам должно быть не менее 7 м, при III степени — 9 м, при IV—V степенях — 10 м.

Электрические схемы первичных соединений ТП определяются их назначением и ха-

служит рубильник РП2), т.е. только тока холостого хода трансформатора. Предохранители ПНЗ служат для автоматического отключения трансформатора при коротких замыканиях в самом трансформаторе или соединительных проводниках (шинах).

Предохранители ПН2 защищают трансформатор от токов коротких замыканий и перегрузки на стороне низшего напряжения. На подстанции, смонтированной по данной схеме, иногда устанавливают и трансформатор мощностью 630 кВ·А, однако в этом случае вместо рубильника и предохранителей на стороне низшего напряжения рекомендуется устанавливать автоматический выключатель. К трансформаторам тока ТТ присоединяют измерительные приборы: амперметры А, счетчики активной Wh и реактивной VARh энергии. Для измерения напряжения служит вольтметр V.

Установка трансформаторов тока и предохранителей после рубильника обеспечивает безопасную работу при смене плавких вставок, ремонте, замене счетчиков и т.д. Если подстанция является сетевой и питает жилые и общественные здания, то трансформаторы тока и измерительные приборы не устанавливают. На отходящих линиях установлены рубильники РП1 и предохранители ПН1. Если подстанция тупиковая, то для защиты трансформатора от атмосферных перенапряжений устанавливают трубчатые разрядники типа РТ на ближайшей опоре воздушной линии. Если подстанция служит как транзитная, т.е. для пропуска энергии через шины высокого напряжения к другим подстанциям, то устанавливают внутри подстанции на шинах высокого напряжения вилитовые разрядники².

При кабельном вводе в подстанцию разрядники не устанавливают. В крупных городах применяют двухтрансформаторные подстанции. Оба трансформатора являются рабочими и взаимно резервируются вручную или автоматически. На рис. 6.10 приведена схема двухтрансформаторной ТП из железобетонных блоков с трансформаторами 400 или 630 кВ·А.

Важнейшим условием построения распределительной

¹ Фибровая трубка, внутри которой находится металлический стержень с разрядным промежутком, который пробивается при грозовом перенапряжении. Под действием высокой температуры фибра выделяет газы, которые гасят электрическую дугу.

² Используется свойство керамических материалов резко снижать свое сопротивление при перенапряжении.

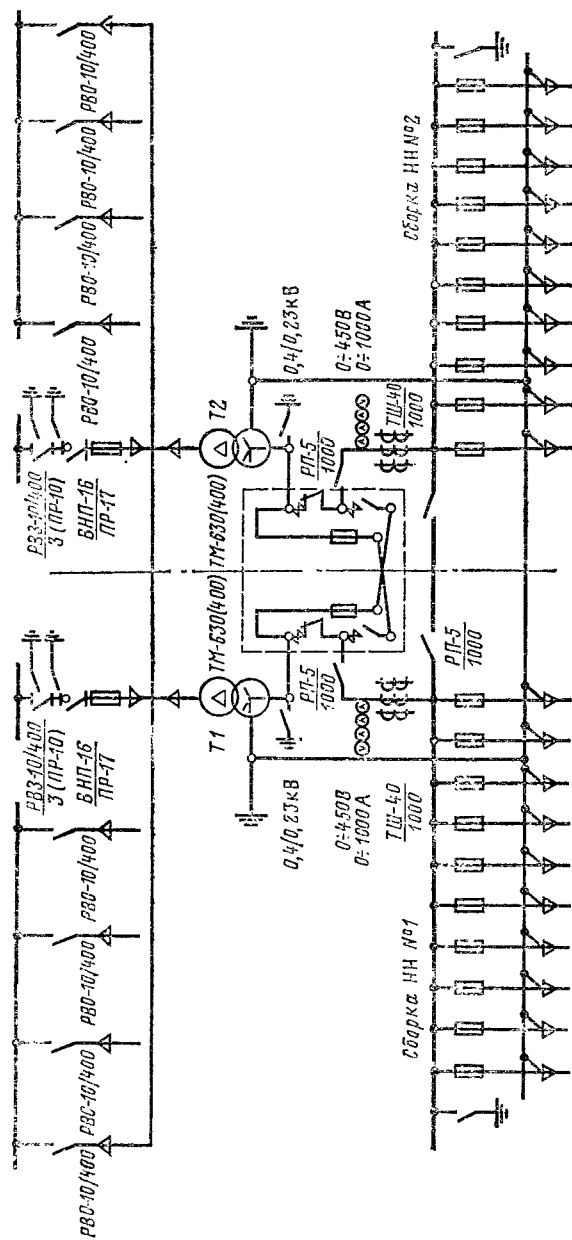


Рис. 6.10. Схема двухтрансформаторной подстанции

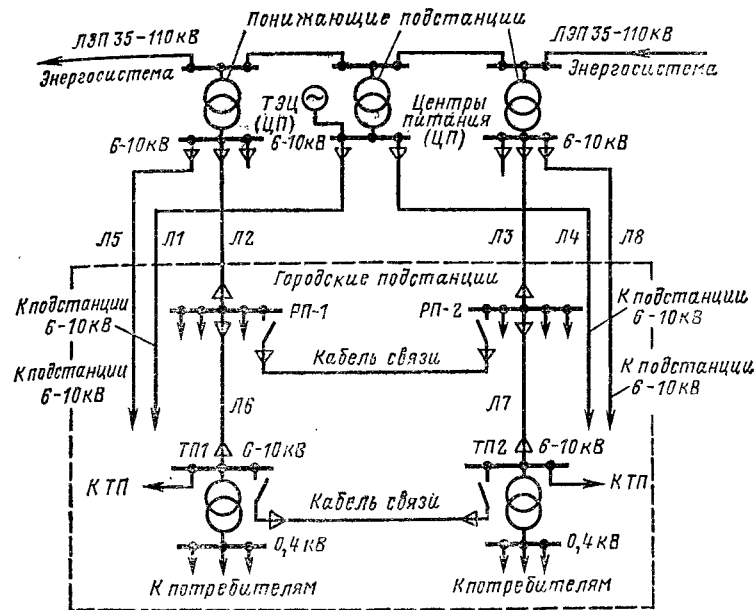


Рис. 6.11. Схема электроснабжения города

сети является правильный выбор мощности и размещения ТП. Мощности трансформаторов определяют на основании расчетов электрических нагрузок с учетом допустимых перегрузок в нормальном и аварийном режимах. Допустимые перегрузки в нормальном режиме установлены ГОСТ и приводятся в каталогах. Перегрузки масляных трансформаторов в аварийном режиме регламентированы Инструкцией по проектированию городских электрических сетей и могут составлять 60 % номинальной мощности на время максимума нагрузок общей суточной продолжительностью не более 6 ч в течение не более 5 сут. На рис. 6.11 приведена схема электроснабжения небольшого города.

6.4. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЗДАНИЙ

Электроснабжение зданий и сооружений осуществляет, как правило, по сетям напряжением до 1 кВ. Исключение составляют крупные уникальные сооружения со встроенными ТП, к которым подводятся линии 6—10 кВ.

Распределение электрической энергии осуществляется по сетям, имеющим различные схемы. Построение схем зависит от ряда факторов, основными из которых являются: напряжение сети, уровни электрических нагрузок, требования к надежности электроснабжения, экономичность, простота и удобство обслуживания, конструктивные и пировочные особенности здания.

Кроме того, схема электроснабжения должна обеспечивать возможность применения промышленных методов монтажа. Необходимость рационального построения схем распределения энергии помимо вышеуказанного определяется еще высоким удельным весом капитальных вложений на строительство внутренних сетей.

Напряжение сети. Как правило, напряжение электрической сети принимается 380/220 В при глухом заземлении нейтрали трансформаторов на питающей подстанции. Как показывают многочисленные расчеты, это напряжение является наиболее экономичным для жилых и общественных зданий. В некоторых городах, где еще сохранились сети 220/127 В, осуществляется интенсивный перевод этих сетей на 380/220 В, что обеспечивает резкое повышение пропускной способности сетей и экономии цветного металла. Можно, однако, предположить, что в отдаленном будущем, при переходе на полную электрификацию быта, включая применение электроотопления, кондиционирования воздуха и приготовление горячей воды, экономичным окажется более высокое напряжение. Так, например, в практике строительства крупных зданий со встроенными магазинами, зрелищными и другими предприятиями за рубежом получили некоторое распространение схемы с вводом высокого напряжения непосредственно в здание и установкой силовых трансформаторов сравнительно небольшой мощности (до 160 кВ·А) на этажах. Как правило, питание силовых и осветительных электроприемников жилых и общественных зданий осуществляется от общих силовых трансформаторов при условии соблюдения требований по допустимым размерам изменений напряжения.

Экономичность. Задача построения электрической сети, как правило, многовариантна. Поэтому важным критерием выбора той или иной схемы является ее экономичность как по затратам денежных средств на сооружение и эксплуатацию, так и по расходу цветного металла. Методика технико-экономических расчетов приведена в гл. 16.

Простота и удобство обслуживания. Помимо экономич-

ности должно уделяться достаточное внимание удобствам эксплуатации, наглядности схемы и ее простоте. Иногда эти требования превалируют над требованиями экономичности. Отсюда вытекает необходимость удобного расположения ВРУ здания, обеспечивающего наиболее простой ввод питающих линий и прокладку распределительной сети, а также безопасность обслуживания. Схема сети должна строиться таким образом, чтобы поврежденный участок сети легко обнаруживался и заменялся и чтобы при этом отключалось по возможности небольшое количество потребителей.

Конструктивные особенности здания оказывают известное влияние на построение схем. В тех случаях, например, когда в жилое здание встраиваются различные предприятия и учреждения, схема сети усложняется в связи с необходимостью комплексного питания потребителей собственно здания и встроенных помещений. При этом схема должна отвечать требованиям надежности электроснабжения всех потребителей. При построении схемы внутренних сетей очень важно учитывать решения строительных конструкций зданий для экономичного и промышленного осуществления электромонтажных работ.

Таким образом, рационально построенная схема электрической сети является синтезом комплекса факторов, определяющих ее параметры. Оценка и выбор схемы могут производиться только по совокупности всех показателей применительно к конкретным условиям сооружаемой электроустановки.

6.5. КЛАССИФИКАЦИЯ СЕТЕЙ

По назначению электрические сети до 1 кВ жилых и общественных зданий делятся на питающие и распределительные.

Питающей сетью называют линии, идущие от трансформаторной подстанции до ВРУ и от ВРУ до силовых распределительных пунктов в силовой сети и до групповых щитков в осветительной сети.

Распределительной сетью называют линии, идущие от распределительных пунктов в силовой сети до силовых электроприемников.

Групповой сетью называются линии, идущие от групповых щитков освещения до светильников в осветительной



Рис. 6.12. Схема разомкнутой питающей сети секции жилого здания:

1 — автоматический выключатель; 2 — стояк; 3 — ввод в квартиру

сети. Линии от этажных групповых щитков к электроприемникам квартир жилых домов тоже называют групповыми.

По принципу построения схемы сети разделяются на разомкнутые и замкнутые. *Разомкнутая сеть* состоит из разветвленных линий к электроприемникам или их группам и получает питание с одной стороны. Простейший пример схемы разомкнутой питающей сети квартир одной секции жилого дома представлен на рис. 6.12. Однако разомкнутая сеть обладает некоторыми недостатками, которые заключаются в том, что при аварии в любой точке сети питание всех потребителей за аварийным участком прекращается.

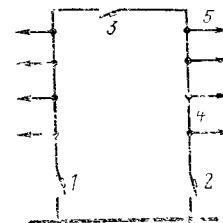
В разомкнутой сети поддержание необходимого уровня напряжения на зажимах электроприемников в различное время суток без специальных устройств затруднительно. По этим причинам, несмотря на свою простоту, разомкнутые сети не всегда являются оптимальными, что особенно сказывается при высоком уровне нагрузок и большом числе присоединенных электроприемников.

Замкнутая сеть может иметь один, два и более источников питания, действующих одновременно. На рис. 6.13 дан пример замкнутой сети одной секции жилого дома. Преимущество замкнутой сети состоит в том, что при изменениях нагрузки в любой точке сети автоматически меняется токораспределение в ветвях, которое всегда является оптимальным.

Таким образом, в замкнутой сети идет непрерывный процесс выравнивания напряжения на зажимах электроприемников, позволяющий улучшить качество электроэнергии в известных пределах без значительных затрат цветного металла. При разомкнутой сети обычно достигнуть оптимума при тех же затратах не удастся. В замкнутой сети благодаря автоматическому перемещению точки токораздела достигается уменьшение влияния асимметрии нагрузок в различных фазах, что также имеет немаловажное значение при случайном сочетании нагрузок. Следует отме-

Рис. 6.13. Схема замкнутой питающей сети жилого дома:

1, 2 — автоматические выключатели; 3 — автоматический выключатель (слабая связь); 4 — стояк; 5 — ввод в квартиру



тить, что в замкнутой сети происходит некоторое снижение суммарного максимума нагрузок по сравнению с разомкнутой сетью.

Представленная на рис. 6.13 схема является простой замкнутой сетью со слабой связью (автоматический выключатель 3). При аварии в любой точке сети в первую очередь должен отключиться автоматический выключатель 3, затем автоматический выключатель в той линии, где произошло КЗ. При этом половина сети остается в работе. Уставка тока трогания автоматического выключателя 3, или номинальный ток плавкой вставки предохранителя, выбирается существенно ниже, чем у автоматических выключателей (предохранителей) 1 и 2.

Несмотря на указанные преимущества, замкнутые сети пока не получили большого распространения, что в известной мере объясняется затруднениями в устройстве селективной защиты на базе выпускаемых аппаратов (автоматических выключателей и предохранителей) для сетей низкого напряжения. Кроме того, в подобных сетях возрастают токи КЗ, что может создать трудности в выборе аппаратуры. За рубежом замкнутые сети получили некоторое распространение в крупных жилых комплексах с встроенными предприятиями обслуживания, магазинами и зрелищными предприятиями.

Сети могут выполняться по радиальной, магистральной и смешанной схемам.

При радиальной схеме от ВРУ отходят питающие линии без разветвлений к отдельным электроприемникам или отдельным распределительным пунктам (щитам), от которых, в свою очередь, питаются электроприемники.

На рис. 6.14 показан пример радиальной схемы питающей силовой сети здания. Достоинство радиальной схемы заключается в ее надежности, так как при выходе из строя одной питающей линии отключается только один электро-

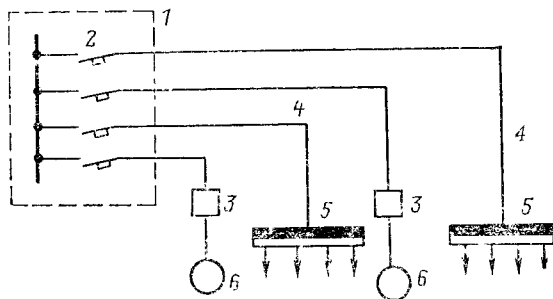


Рис. 6.14. Радиальная схема силовой сети:

1 — распределительный щит; 2 — автоматический выключатель; 3 — пусковой парат; 4 — линия; 5 — распределительный пункт; 6 — электроприемник

приемник или группа электроприемников, присоединенных к одному распределительному пункту. Однако эта схема имеет серьезные недостатки, заключающиеся в большом числе питающих линий, увеличенной протяженности сети и, следовательно, значительном расходе цветного металла, увеличенном количестве коммутационных аппаратов. Радиальные схемы с подводкой питания в каждую квартиру жилого дома отдельной линией от ввода в здание явно неэкономичны и не применяются.

Для внутренних электрических сетей характерны *магистральные схемы* (рис. 6.15), при которых к одной питающей линии с учетом удобной трассировки присоединяются несколько распределительных пунктов (щитов).

В жилых домах к одной питающей горизонтальной линии могут быть присоединены один или несколько стояков, от которых, в свою очередь, отходят ответвления к этажным щиткам. Однако надо иметь в виду, что при присоединении двух и более стояков к одной питающей линии в домах высотой 6 этажей и более в точке ответвления следует устанавливать аппарат управления для ремонтных целей. Для наружных кабельных сетей, питающих многоэтажные здания, радиальная схема применяется широко, однако с взаимным резервированием питающих линий от ТП до ВРУ здания для обеспечения работы электроприемников при выходе из строя одной из линий.

При питании зданий с относительно небольшими нагрузками, например жилых домов высотой до 5 этажей включительно, небольших бытовых мастерских и магазинов, большей частью применяются магистральные схемы

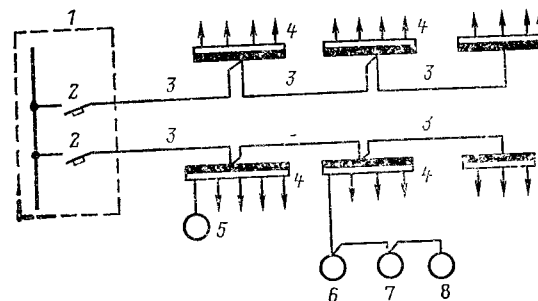


Рис. 6.15. Магистральная схема силовой сети:

1 — распределительный щит; 2 — автоматический выключатель; 3 — питающая линия; 4 — силовой распределительный пункт; 5 — электроприемник; 6, 7, 8 — электроприемники, включенные в «цепочку»

с питанием нескольких зданий одной линией. Магистральные схемы широко используются в воздушных сетях при питании мелких зданий в небольших городах и поселках. Магистральные схемы дешевле радиальных, но менее надежны.

Многолетняя практика проектирования и строительства, а также многочисленные расчеты и исследования позволили выработать некоторые типичные решения элементов схем, которые приведены в гл. 7.

Глава седьмая

СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

7.1. СХЕМЫ НАРУЖНЫХ (ВНУТРИКВАРТАЛЬНЫХ) ПИТАЮЩИХ ЛИНИЙ

Схемы внутриквартальных наружных сетей до 1 кВ имеют важное значение для правильного построения схем внутренних сетей жилых зданий, поскольку выбор схемы в значительной степени зависит от взаимосвязи между всеми элементами сети, включая местоположение трансформаторной подстанции, длину и сечение наружных питающих линий.

Ниже приводятся характерные схемы электроснабжения жилых зданий различной этажности, которые обеспечивают необходимую надежность питания и, как показывают расчеты, являются экономически целесообразными.

Питание жилых домов высотой до 5 этажей включительно. Для питания таких зданий при отсутствии в квартирах электроплит применяются магистральные петлевые схемы с резервной перемычкой или без нее. Такая простейшая схема кабельной сети показана на рис. 7.1. Резервная перемычка 8 подключается при выходе из строя любой из питающих линий 9 или 10, которые должны рассчитываться на прохождение по ним тока аварийного режима и по допустимым потерям напряжения.

При этом необходимо учитывать, что в аварийном режиме в течение не более 5 сут во время максимума, но не более 6 ч ежедневно нормами разрешается перегрузка кабелей с бумажной изоляцией на 20, с полиэтиленовой на 10 и поливинилхлоридной на 15 % длительно допустимой по ПУЭ. Перегрузка допускается при условии, что в нормальном режиме нагрузка кабелей не превышает номинальной для кабелей с пластмассовой изоляцией и 80 % номинальной для кабелей с бумажной изоляцией (в земле).

В послеаварийном режиме допускаются также повышенные потери напряжения — до 10 %. Если учесть, что указанные жилые дома относятся к III категории надежности, то устройство резервной перемычки не является обязательным. Однако в крупных городах со сложными условиями разрытия даже при хорошей постановке ремонтной службы устранение аварии в течение суток бывает затруднительным. Поэтому прокладку резервной перемычки длиной обычно не более 70—80 м в этих условиях следует считать целесообразной.

Приведенная схема (рис. 7.1) имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что при отключении одной из питающих линий, например 9, электроснабжение всех зданий осуществляется по кольцу, в результате чего даже при повышенных допустимых потерях напряжения иногда приходится увеличивать сечения кабелей. Другим недостатком является то, что резервная перемычка в нормальном режиме не используется.

На рис. 7.2 приведена модификация описанной схемы, при которой на вводах в здание вместо рубильников устанавливаются переключатели. При аварии с одной из питающих линий данная схема в ряде случаев оказывается бо-

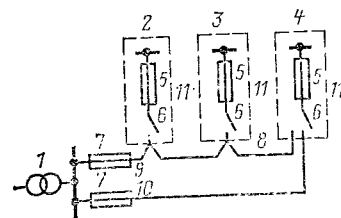


Рис. 7.1 Схема питания жилых домов высотой до 5 этажей с резервной перемычкой:

1 — трансформаторная подстанция; 2, 3, 4 — жилые дома; 5, 7 — предохранители; 6 — рубильники; 8 — резервная перемычка; 9, 10 — питающие линии; 11 — ВРУ

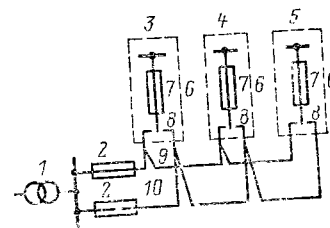


Рис. 7.2. Схема питания жилых домов высотой до 5 этажей с переключателями на вводах:

1 — трансформаторная подстанция; 2, 7 — переключатели; 3, 4, 5 — жилые дома; 6 — ВРУ; 8 — переключатели; 9, 10 — питающие линии

лее экономичной. Недостатком схемы является некоторое усложнение вводного устройства и удлинение питающих линий. Кроме того, в каждый дом (кроме тупикового) приходится заводить уже не два, а четыре кабеля. Однако схема удобна при застройке в линию и менее экономична при других планировочных решениях.

В небольших городах и поселках, где широко применяются воздушные линии, резервирования не требуется, так как неисправность может быть обнаружена и устранена достаточно быстро.

Питание жилых домов высотой 9—16 этажей. Для питания электроприемников таких домов применяются как радиальная, так и магистральная схемы с переключателями на вводах (рис. 7.3).

При этом обычно одна из питающих линий используется для присоединения электроприемников квартир и общего освещения общедомовых помещений (подвал, лестничные клетки, вестибюли, холлы, чердаки, наружное освещение и т.д.); другая питающая линия предназначена для подключения лифтов, противопожарных устройств эвакуационного и аварийного освещения, элементов диспетчеризации и кодовых замков на дверях подъездов.

При выходе из строя одной из питающих линий все электроприемники дома подключаются к линии, оставшейся в работе, которая рассчитана с учетом допустимых перегрузок при аварийном режиме. Перебой в питании потребителей при указанной схеме продолжается обычно не более

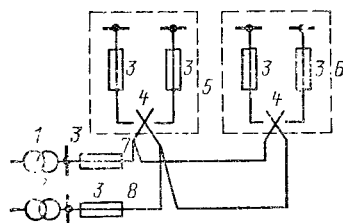


Рис. 7.3. Схема питания жилых домов высотой 9—16 этажей с двумя переключателями на вводах:

1, 2 — трансформаторы; 3 — предохранители; 4 — переключатели; 5, 6 — ВРУ; 7, 8 — питающие линии

1 ч, т.е. времени, необходимого для вызова электромонтера ЛЭЗ, который и осуществляет нужные переключения на ВРУ. Схема может быть использована и для домов высотой до 5 этажей, оборудованных квартирными электроплитами.

Для питания зданий высотой 9—16 этажей с электроплитами, а также многосекционных домов с большим числом квартир с газовыми плитами приходится применять три или более питающих линий (вводов).

На рис. 7.4 приведены схемы питания жилых домов с тремя вводами. Первый ввод резервирует второй, второй резервирует третий и третий резервирует первый (рис. 7.4, а); модификация этой схемы приведена на рис. 7.4, б, где первый и второй вводы взаимно резервируют друг друга, а третий ввод резервируется от первого. Такая схема удобна при ремонте одной из сборок низкого напряжения на подстанции. Однако в этом случае на один кабель приходится вся нагрузка дома, и в этом исключительном случае часть электроприемников на период ремонта отключается.

При питании зданий по схемам, приведенным на рис. 7.4, следует учитывать важную особенность сетей, построенных по так называемой двухлучевой схеме с АВР на сто-

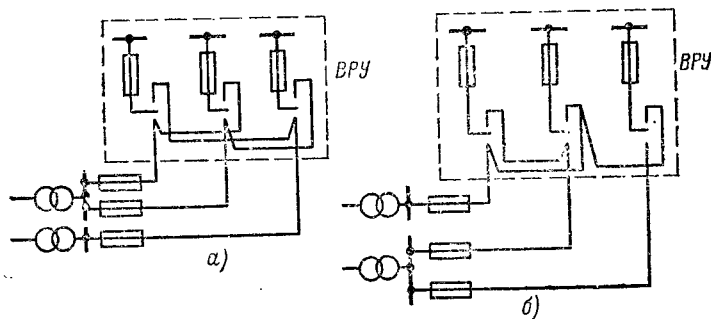


Рис. 7.4. Схема питания зданий высотой 9—16 этажей с тремя вводами

роне 0,4 кВ ТП. Применяемые для АВР контакторные станции серии ПЭВ оборудованы контакторами, рассчитанными на ток 1000 А (имеется также большое количество ТП, оборудованных контакторами на ток 630 А). При аварийных переключениях питающих линий нельзя допускать перегрузки контакторов, что может привести к выходу из строя подстанции и лишить электроэнергию присоединенные здания.

Возможна также установка АВР на стороне высшего напряжения, поскольку выход из строя трансформаторов — явление крайне редкое.

Питание жилых домов высотой 17 этажей и более. При построении схемы питания жилых домов 17—25 этажей и более необходимо учитывать, что лифты, эвакуационное и аварийное освещение, огни светового ограждения, противопожарные установки являются электроприемниками первой категории по надежности электроснабжения. Для таких зданий применяются радиальные схемы с АВР на вводах, к силовым вводам присоединяются и противопожарные устройства, огни светового ограждения, эвакуационное и аварийное освещение. Соответствующая схема приведена на рис. 7.5.

В этих зданиях, как правило, нагрузки на вводах неодинаковы. Это приводит к тому, что силовой ввод выбирается по аварийному режиму. Целесообразно часть нагрузок квартир присоединять к силовому вводу (если при этом размахи напряжения от включения силовых электроприемников не превышают допустимые по ГОСТ). Для учета расхода электроэнергии при различных тарифах на силовое оборудование и освещение необходимо устанавливать отдельные счетчики на силовую нагрузку и аварийное и эвакуационное освещение. Однако в настоящее время некоторыми органами Энергонадзора установлен усредненный тариф на эти нагрузки (например, в Москве — 3,12 коп. за 1 кВт·ч). В этом случае не требуется установка дополнительного счетчика для учета аварийного и эвакуационного освещения.

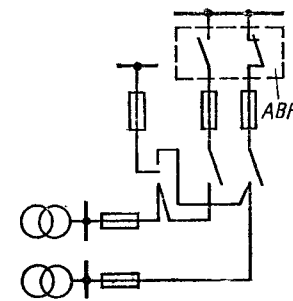


Рис. 7.5. Схема электроснабжения жилого дома высотой 17 этажей и выше

7.2. РАЗМЕЩЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Одним из важных вопросов при проектировании внутриквартальных сетей является выбор места для размещения подстанции. Наиболее целесообразно размещать подстанции в центре нагрузки со смещением в сторону питания, однако архитектурно-планировочные решения застройки района не всегда допускают такое размещение.

При многоэтажной застройке и наличии встроенных в жилые дома предприятий общественного и бытового назначения, а также при установке электроплит в квартирах наиболее экономически целесообразно встраивать подстанции непосредственно в здания. Однако в настоящее время ПУЭ и СНиП запрещают размещение подстанций в жилой части зданий ввиду проникновения в квартиры шума от работающих трансформаторов. Тем не менее представляется целесообразным допустить встраивание подстанций при условии применения специальных мер по звукоизоляции строительных конструкций, снижающих проникновение шума в квартиры до уровня, установленного нормами. Весьма перспективным является размещение подстанций в подземном пространстве в непосредственной близости от зданий или даже под зданиями.

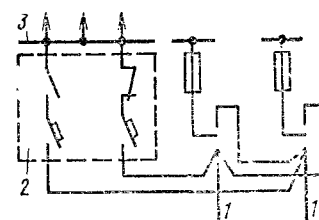
7.3. СХЕМЫ ВВОДНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

В современных жилых зданиях вводы внешних сетей и коммутационно-защитная аппаратура внутренних распределительных сетей объединяются в единое комплектное ВРУ, которое является и главным распределительным щитом. Как уже упоминалось, схемы вводов зависят от принятых схем наружных сетей.

Следует иметь в виду, что в домах высотой до 16 этажей включительно, в которых применяются противопожарные устройства, в частности системы дымозащиты, питание этих устройств должно осуществляться от специальной панели ВРУ с АВР, причем питающие линии к этой панели должны подключаться к вводам в здание до переключателей (рис. 7.6), что повышает надежность их электроснабжения. На вводе питающей линии в здание устанавливаются аппараты защиты и управления. При вводе на ток не более 25 А аппарат управления может не устанавливаться. При ответвлениях к зданиям от воздушных линий, защищенных в точке ответвления аппаратом защиты на ток не более 25 А, вводные устройства могут не применяться.

Рис. 7.6. Схема подключения противопожарных устройств в домах высотой до 16 этажей включительно:

1 — питающие линии от ТП; 2 — АВР; 3 — щит питания противопожарных устройств



На вводах, как правило, после аппаратов управления устанавливаются предохранители с токоограничивающим действием с целью ограничения токов КЗ.

При определенных условиях, особенно в крупных многоэтажных зданиях, экономически целесообразна установка не одного, а нескольких ВРУ. Их расположение наряду с архитектурно-планировочными и другими факторами определяется технико-экономическими расчетами. Оптимальное число ВРУ может быть принято по табл. 7.1. Как показывают исследования, ВРУ целесообразно размещать в секциях дома, ближайших к трансформаторной подстанции.

Следует иметь в виду, что максимальная нагрузка на каждом вводе в здание, как правило, не должна превышать 400 А, а в исключительных случаях 600 А во избежание необходимости прокладки пучка параллельных кабелей и установки на вводах громоздких аппаратов.

Распределительная часть ВРУ. К распределительной части ВРУ присоединяются питающие линии квартир, силовых потребителей, питающие и групповые линии рабочего, эвакуационного и аварийного освещения общественных помещений¹, противопожарных устройств, огней светового ограждения, элементов диспетчеризации, кодовых замков и переговорных устройств, освещения и силовых потребителей, встроенных и пристроенных общественных помещений.

На каждой отходящей от ВРУ линии устанавливаются аппараты защиты (автоматические выключатели или предохранители). Аппарат управления может быть один на несколько линий одного назначения.

¹ ПУЭ разрешается присоединять к одной фазе групповых линий лестничного освещения, освещения холлов, технических подпольев, чердаков до 60 ламп люминесцентных или накаливания мощностью до 60 Вт.

Таблица 7.1. Оптимальное количество ВРУ и число отходящих горизонтальных линий для питания квартир

Количество этажей в здании	Количество ВРУ (числитель), число отходящих от каждого ВРУ горизонтальных питающих линий (знаменатель) при количестве секций в здании			
	1	2—5	6—7	8 и более

Газифицированные здания

5—9	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{1-2}$
-----	---------------	-----------------	-----------------	-----------------

Здания с электроплитами

5—8	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ (2) (1—2)
9—12	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2-3}$ (2) (2)
13—16	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2-3}$ (2) (2)	$\frac{2}{2}$ (1) (3)
17—22	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{2}$ (2) (2)	—	—
23—25	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{2}$ (2) (1—2)	—	—

Примечания: 1. Показатели в скобках соответствуют практически равнозначным вариантам сети (с превышением приведенных затрат на сеть не более 2—4 %). 2. В зданиях высотой до 5 этажей следует устанавливать одно ВРУ. 3. Число питающих линий может отличаться от указанного в таблице в зависимости от условий надежности и конструктивных особенностей здания.

Измерения и учет. Для учета электроэнергии, расходуемой общедомовыми потребителями, устанавливаются трехфазные счетчики прямого включения или с трансформаторами тока. Счетчики устанавливаются на ответвлениях и присоединяются к соответствующим секциям шин. Приборы для контроля токовых нагрузок, как правило, в жилых зданиях стационарно не устанавливаются. Однако в крупных зданиях, особенно оборудованных электроплитами, установку амперметров и вольтметров на каждом вводе следует считать целесообразной.

Подавление помех радиоприему. Для этой цели непосредственно на вводах устанавливаются помехозащитные

конденсаторы типа КЗ-0,5 емкостью 0,5 мкФ на каждую фазу. Конденсаторы снабжены встроенными предохранителями, соединяются в звезду и заземляются.

7.4. СХЕМЫ ПИТАЮЩИХ ЛИНИЙ ВНУТРИ ЗДАНИЙ

Выбор количества питающих линий, отходящих от ВРУ, и числа стояков, присоединяемых к одной питающей линии, в многоэтажных зданиях является многовариантной задачей. При ее решении следует учитывать такие факторы, как расстояние до ТП, электрические нагрузки, количество и сечение линий, ограничения по допустимому нагреву и отклонениям напряжения, конструктивное выполнение сетей и т. д. Оптимальным является вариант, при котором получаются наименьшие расчетные затраты.

Исследования, проведенные МНИИТЭП по специально разработанной методике с учетом ежегодного роста нагрузок (см. гл. 16), и расчеты, выполненные на ЭВМ, позволили определить оптимальные варианты построения схем электрических сетей для жилых зданий различной этажности. Оптимальное количество ВРУ и число отходящих линий для питания квартир (горизонтальные участки) приведены в табл. 7.1.

При числе квартир на этаже в секции дома не более четырех в зданиях до 16 этажей включительно экономически целесообразно прокладывать один стояк. Число стояков, подключаемых к одной питающей линии, ПУЭ не ограничивается. Однако для удобства выполнения ремонтных работ в домах высотой более 5 этажей при двух и более стояках, присоединенных к одной питающей линии, стояки должны иметь отключающие аппараты. При подключении к одному стояку более 70—80 квартир, несмотря на экономичность одного стояка, из условий повышения надежности рекомендуется прокладывать два стояка с подключением квартир через этаж, или по две квартиры на стояк на каждом этаже, или больше половинным (примерно 60—70 %) квартир, начиная с 1-го этажа, к одному стояку и оставшуюся часть ко второму.

Рекомендуемые по экономическим соображениям схемы стояков приведены в табл. 7.2 и на рис. 7.7.

Кроме питающих линий квартир, о которых говорилось выше, к внутридомовым питающим линиям относятся линии, питающие электродвигатели и прочее электрооборудо-

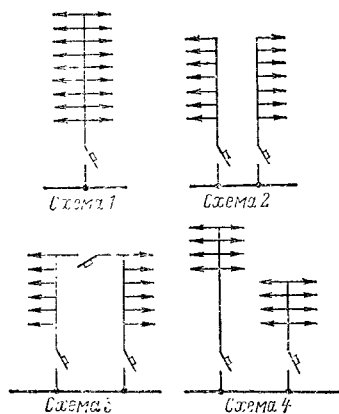


Рис. 7.7. Схемы стояков

вание лифтов, различных насосов, вентиляторов и других электроприемников систем дымозащиты.

Питающие линии лифтов должны прокладываться непосредственно от ВРУ, причем к одной линии можно подключать не более четырех лифтов, установленных в разных секциях. При наличии в каждой секции двух лифтов их присоединяют к разным питающим линиям, но при этом число лифтов, присоединяемых к каждой питающей линии, не ограничивается.

Рабочее эвакуационное и аварийное освещение лестничных клеток и коридоров, как правило, автоматизируется, и управление осуществляется с ВРУ или объединенного диспетчерского пункта (ОДС). Поэтому групповые линии этих видов освещения целесооб-

Таблица 7.2. Схемы вертикальных участков (стояков) в секциях жилых зданий

Количество этажей	Номера схем стояков (рис. 7.7) при количестве секций в доме		
	1	2—4	5—10
Газифицированные здания			
5—9	1	1	1
Здания с электроплитами			
5—8	1	1	1
9—12	2 (3)	1 (1)	1 (1)
13—16	2 (3)	1 (1)	1 (1)
17—22	2 (3)	1 (1)	1 (2)
22—25	3	1 (2)	1 (2)

Примечания: 1. Номера схем стояков, указанные в скобках, соответствуют вариантам сети, практически равноэквивалентным по приведенным затратам с несколько большим расходом проводникового материала (на 3—5 %). Однако в зданиях высотой 16 этажей и более схемам, указанным в скобках, следует отдавать предпочтение ввиду их большей надежности. 2. Количество квартир в каждой секции и на каждом этаже принято следующее: одnoseкционные здания — 5—8, двух-, десятисекционные здания — 3—4.

разно присоединять непосредственно к ВРУ, где сосредоточена вся аппаратура защиты и управления. К ВРУ также присоединяются групповые линии штепсельных розеток для подключения уборочных механизмов.

Встроенные в жилые дома предприятия и учреждения получают питание либо от ТП, либо через ВРУ дома. Проектирование электрооборудования этих предприятий и учреждений осуществляется, как и для отдельных зданий аналогичного назначения (см. гл. 8).

7.5. СХЕМЫ ГРУППОВОЙ КВАРТИРНОЙ СЕТИ

Групповая квартирная сеть является завершающим звеном электрической сети жилого дома. Она предназначена для питания осветительных и бытовых электроприемников. Назначение групповых линий и их пропускная способность определяются по табл. 3.4, которая составлена с учетом электрических нагрузок, наличия стационарных и переносных электроприемников и удобства эксплуатации.

По соображениям безопасности групповые линии целесообразно выполнять однофазными. В перспективе при значительном росте нагрузок возможно устройство трехфазных четырехпроводных вводов в квартиры, но при этом необходимы дополнительные меры по обеспечению электробезопасности, такие, как более надежная изоляция проводников и приборов, а также устройство автоматического защитного отключения. Однако и при трехфазных вводах целесообразно групповые линии общего освещения и штепсельной сети внутри квартир выполнять однофазными, а для питания электрических плит, электроводонагревателей и т. п. — трехфазными. Как правило, рекомендуется выделять общее освещение на отдельную групповую линию.

В целях экономии проводов нормы допускают смешанное питание общего освещения и штепсельных розеток. Однако такая схема менее надежна и, по мнению авторов, ее применять нецелесообразно. В квартирах с числом комнат более трех допускается устройство дополнительной групповой линии для питания штепсельных розеток на ток до 16 А.

Число штепсельных розеток, устанавливаемых в квартирах, регламентировано нормами и составляет:

в жилых комнатах квартир и общежитий — одна розетка на каждые полные и неполные 6 м² площади комнаты;

в коридорах квартир — одна розетка на каждые полные и неполные 10 м² площади. В общей комнате квартир, обо-

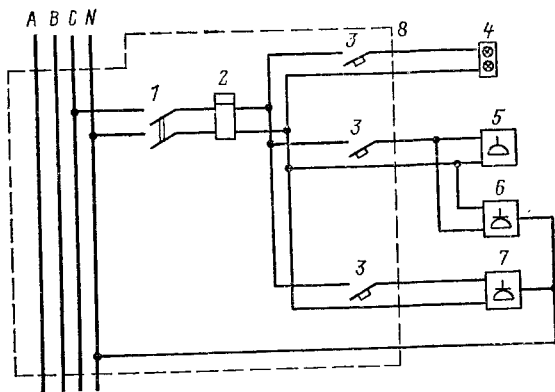


Рис. 7.8. Схема групповой квартирной сети:

1 — выключатель; 2 — счетчик; 3 — автоматические выключатели; 4 — общее освещение; 5 — розетка 6 А; 6 — розетка 10 А; 7 — электроплита; 8 — этажный щиток.

рудованных кондиционерами, — дополнительная розетка на ток 10 А для подключения кондиционера;

в кухнях квартир площадью до 8 м² — три штепсельные розетки на ток 6 А, а 8 м² и более — четыре для подключения холодильника, бытового прибора, надплитного фильтра, динамика трехпрограммного вещания, местного освещения;

одна штепсельная розетка с заземляющим контактом на ток 25 А для подключения бытового прибора мощностью до 4 кВт (в домах с электроплитами мощностью до 5,8 кВт эта же розетка используется для подключения электроплиты);

одна штепсельная розетка с заземляющим контактом на ток 40 А для подключения электроплиты мощностью от 5,9 до 8 кВт. Следует иметь в виду, что розетки 25 и 40 А не предназначены для отключения электроплит под нагрузкой.

Увеличение числа штепсельных розеток по сравнению с ранее действовавшими нормами имеет целью по возможности избежать применения жильцами различных удлинителей и разветвителей, создающих повышенную опасность поражения электрическим током. В ванных комнатах может устанавливаться штепсельная розетка, подключаемая через разделяющий трансформатор 20 В·А.

На рис. 7.8 приведена схема групповой сети квартиры с электроплитой. Как видно из рисунка, для зануления корпуса стационарной электроплиты и бытовых приборов, требующих зануления, от этажного щитка прокладывается от-

дельный проводник. Сечение его принимается равным сечению фазного проводника. Ни в нулевом защитном, ни в нулевых рабочих проводах аппараты защиты не устанавливаются. Для безопасной смены счетчика перед ним устанавливается двухполюсный выключатель.

7.6. ТИПОВЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

В предыдущих параграфах были рассмотрены отдельные элементы схем электроснабжения и электрооборудования. Рассмотрим одну из типовых комплексных схем распределения электроэнергии в жилом 16-этажном доме (рис. 7.9).

Здание имеет два кабельных взаиморезервируемых ввода 1 и 2 с переключателями 3 и предохранителями 4. К каждому из вводов (1 и 2) подключены соответствующие секции шин ВРУ (I и II). От секции I отходят питающие линии квартир 5, а также через отдельный автоматический выключатель 6 и счетчик 7, включаемый через трансформаторы тока 8, питается сборка ВРУ общедомовых помещений. От последней отходят групповые линии рабочего освещения холлов, лестниц и коридоров 9, освещения технического подполья, чердака, машинных помещений и шахт лифтов и питающая линия к щитку иллюминации 10.

От секции II ВРУ отходят питающие линии лифтов 11, групповые линии эвакуационного и аварийного освещения 12, штепсельных розеток для подключения уборочных машин 13. Потребление электрической энергии электроприемниками секции II ВРУ учитывается трехфазным счетчиком 14, который подключен через трансформаторы тока 15. К питающим линиям квартир с автоматическими выключателями 16 присоединяются стояки секций.

На вводах устанавливаются помехозащитные конденсаторы 17 емкостью 0,5 мкФ. Освещение лестниц и коридоров автоматизировано, и все элементы автоматики установлены на ВРУ. Автоматика обеспечивает управление освещением в функции естественной освещенности с помощью фотовыключателя 18 и программного реле времени 19, отключающего часть освещения в ночные часы. Кроме того, имеется возможность централизованного управления освещением с диспетчерского пункта. При выходе из строя автоматики возможно ручное управление.

Устройства дымозащиты подключаются к специальной панели III ВРУ с устройством АВР, которая присоединяется

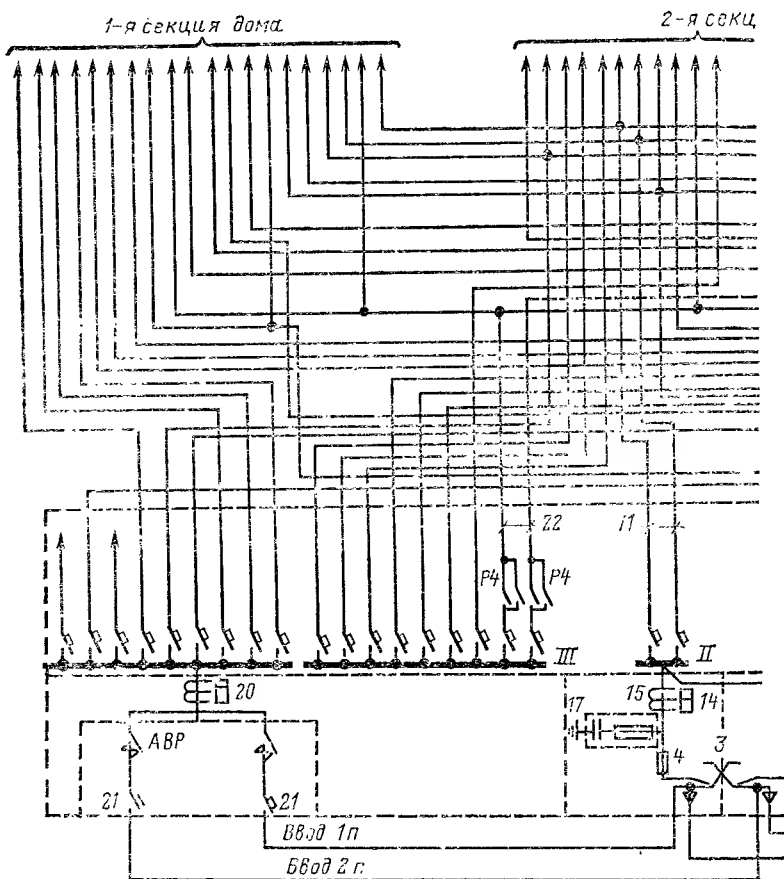
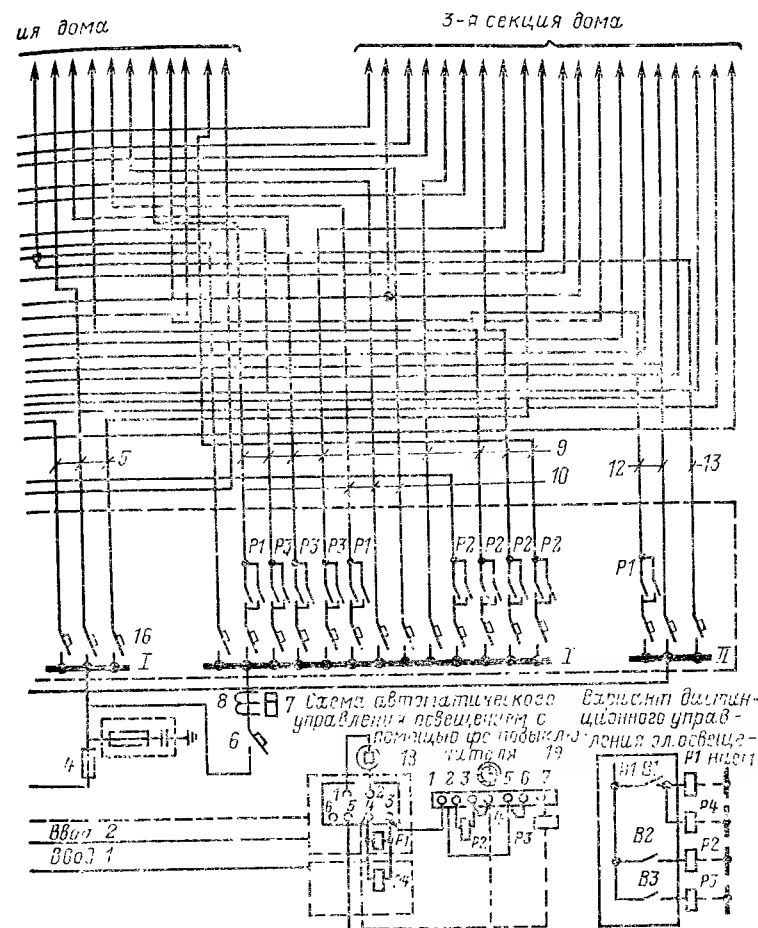


Рис 7.9 Схема электрооборудования 16-этажного жилого дома

кобим вводам до переключателей (звонды 1 и 2). Благодаря такому присоединению эти устройства остаются в рабочем состоянии даже при полном обесточивании дома. Для учета расхода электроэнергии устанавливается счетчик 20. На каждой из линий, питающих секцию III ВРУ, установлены автоматические выключатели 21.

От секции III ВРУ отходят линии, питающие вентиляторы системы дымозащиты и щитки управления, а также



часть линий эвакуационного освещения 22, расположенного на путях эвакуации при пожаре. Такое подключение эвакуационного освещения в 16-этажных домах нормами не предусмотрено, однако целесообразно в целях повышения безопасности людей, причем для этого дополнительных затрат не требуется.

На рис. 7.10 показана схема стояков одной секции дома, т. е. вертикальных участков питающих и групповых линий.

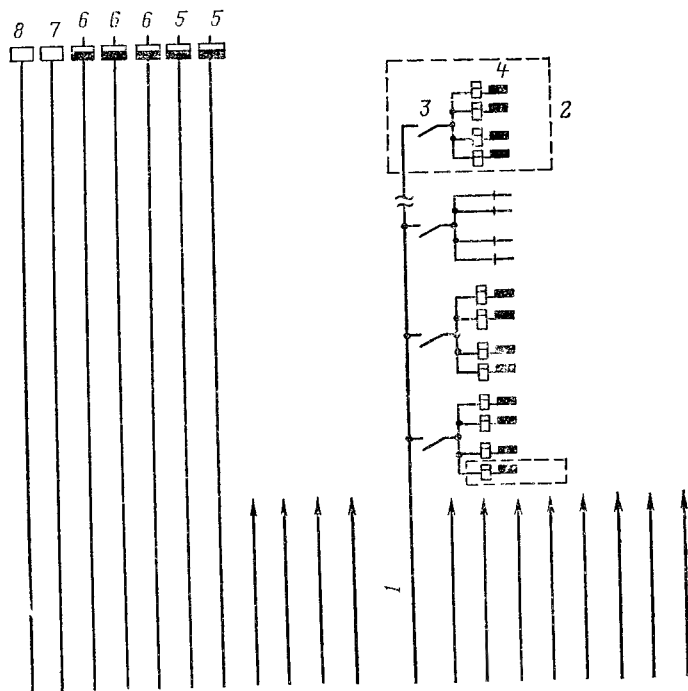


Рис. 7.10. Схема стояков одной секции 16-этажного жилого дома

К стояку 1 подключены этажные щитки квартир 2. Щитки установлены в железобетонном электроблоке на лестничной клетке. На каждом щитке установлены: трехполюсный пакетный выключатель 3 (один на все квартиры)¹ с подключением к двум фазным и нулевому проводам стояка, однофазные счетчики 4 и аппараты защиты групповых линий квартир. Цифрами 5 обозначены лифты, 6 — вентиляторы дымозащиты, 7 — рядок автоматики, 8 — щиток для лифта.

В домах 17 этажей и выше в отличие от рассмотренной схемы лифты и все эвакуационное и аварийное освещение, а также огни светового ограждения присоединяются к сек-

¹ Установка одного выключателя на группу квартир данного этажа допускается, однако это несколько увеличивает неравномерность нагрузки по фазам. Более целесообразна установка двухполюсного пакетного выключателя перед счетчиком на каждую квартиру.

ции III ВРУ, поскольку эти электроприемники относятся к I категории по надежности электроснабжения. Однако панели секции ВРУ, к которым присоединены противопожарные устройства, должны быть обособлены и иметь отличительную красную окраску.

Глава восьмая

СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

8.1. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Построение схем электроснабжения и электрооборудования общественных зданий имеет ряд отличительных особенностей по сравнению с рассмотренными выше схемами жилых зданий. Эти особенности определяются значительным удельным весом силовых электроприемников технологического и санитарно-технического оборудования, режимами его работы, специфическими требованиями к освещению некоторых помещений, а также возможностью встраивания трансформаторных подстанций в некоторые из этих зданий.

Необходимо подчеркнуть, что наряду с отличиями схемы электросетей общественных зданий должны отвечать общим требованиям, наиболее важные из которых изложены в гл. 6. Ввиду большого многообразия общественных зданий в данной главе будут рассмотрены характерные особенности построения схем электросетей некоторых распространенных общественных зданий массового строительства.

Установленные и потребляемые мощности электроустановок общественных зданий достигают сотен и даже тысяч киловольт-ампер. Экономическими расчетами установлено, что при потребляемой мощности более 400 кВт·А целесообразно применять встроенные подстанции, в том числе комплектные (КТП). При этом обеспечивается экономия цветных металлов, исключается прокладка внешних кабельных линий до 1 кВ, нет необходимости в устройстве отдельных ВРУ в здании, поскольку имеется возможность его совмещения с РУ 0,4 кВ подстанции, и т. д. (В этом случае РУ называют абонентским, и оно обслуживается персоналом абонента.)

Выбор мощности и количества трансформаторов и трансформаторных подстанций определяется уровнями электрических нагрузок и технико-экономическими расчетами. Подстанции, как правило, бывают двухтрансформаторные, но в относительно небольших зданиях II и III категорий по надежности электроснабжения возможна установка однитрансформаторных подстанций.

Размеры трансформаторных помещений и помещений РУ, проходы, расстояния до токоведущих частей, конструкции полов, перекрытий, требования к отоплению и вентиляции должны соответствовать нормам, установленным разд. 4 ПУЭ. В целях обеспечения надежной работы аппаратов защиты рекомендуется принимать к установке силовые трансформаторы при мощности до 250 кВ·А со схемой соединения обмоток зигзаг — зигзаг, при мощности 400 — 1000 кВ·А — треугольник — звезда с нулем.

При установке в здании КТП необходимо учитывать дефицитность распределительных шкафов с автоматическими выключателями, поставляемых заводами. Для упрощения и удешевления КТП целесообразно ограничить число линейных автоматических выключателей, устанавливая эти автоматические выключатели на относительно большие токи 200, 400, 600 А и более. Пропускная способность таких автоматических выключателей часто превышает расчетную мощность отходящих питающих линий силовых и осветительных сетей. Чтобы использовать полностью линейные автоматические выключатели КТП, применяют схемы питания с установкой промежуточных распределительных пунктов, состоящих из панелей ЦО щитов ПР, щитов станций управления ИСУ и других с автоматическими выключателями на токи, близкие к расчетным токам питающих линий. Такие устройства принято называть щитами-размножителями.

Следует иметь в виду, что в общественных зданиях широко распространено люминесцентное освещение, при котором ток в нулевом проводе может достигать значений близких к номинальному току трансформатора за счет высших гармонических составляющих. Поскольку для трансформаторов со схемой соединения звезда—звезда с нулем допускается ток в нейтрали трансформатора не более 25 % номинального, необходимо устанавливать силовые трансформаторы с соединением треугольник — звезда. В этом случае допускается ток в нейтрали до 75 % номинального.

8.2. ПИТАЮЩИЕ СЕТИ

Распределение электроэнергии в общественных зданиях может производиться как по радиальным, так и по магистральным схемам. Радиальная схема применяется для питания электроприемников большой мощности или групп электроприемников, сосредоточенных на достаточно близком расстоянии друг от друга. Примером таких электроприемников могут служить крупные холодильные машины, электродвигатели тепловых пунктов, насосных, крупные вентиляционные камеры и т. д.

При относительно равномерном размещении электроприемников небольшой мощности по зданию целесообразно применение магистральной схемы. Достоинства и недостатки каждой из этих схем отмечены в гл. 6.

В общественных зданиях рекомендуется, несмотря на питание от общих трансформаторов, питающие линии силовых и осветительных сетей выполнять отдельными, что обеспечивает определенные удобства эксплуатации, более целесообразную трассировку, а также, как правило, уменьшает колебания напряжения на лампах электрического освещения. Так же, как и в жилых зданиях, на вводах питающих сетей в здание устанавливаются ВРУ с аппаратами управления, защиты, учета расходуемой электроэнергии, а в крупных зданиях и с измерительными приборами. На вводах потребителей, обособленных в административно-хозяйственном отношении (торговые, коммунальные предприятия, отделения связи и т. д.), должны устанавливаться отдельные аппараты управления независимо от наличия таких же аппаратов на отходящих линиях от общего ВРУ здания. На вводах в распределительные пункты или щитки должны устанавливаться аппараты управления.

Если это целесообразно по условиям эксплуатации, можно устанавливать аппараты, совмещающие функции управления и защиты (например, автоматические выключатели), без соблюдения требований по селективности (см. гл. 10). При числе распределительных пунктов или щитков, присоединенных к одной питающей линии, до пяти включительно аппараты управления на вводах в эти пункты или щитки можно не устанавливать. Исключением являются распределительные пункты, от которых питаются силовые электроприемники горячих цехов предприятий общественного питания, где в целях повышения электробезопасности необходимо устанавливать аппараты управления.

На каждой отходящей от ВРУ питающей линии должен устанавливаться аппарат защиты. Аппарат управления может быть общим для нескольких линий, сходных по назначению и режиму работы.

Счетчики для расчетов за расходную электроэнергию должны устанавливаться отдельно для каждого абонента. Нормы допускают одного из абонентов (чаще всего наиболее энергосемкого) считать главным абонентом и питание остальных потребителей осуществлять от ВРУ главного абонента с общим учетом. При этом у отдельных потребителей устанавливают контрольные счетчики и они ведут расчеты за электроэнергию с главным абонентом.

Светильники эвакуационного и аварийного освещения должны присоединяться к сети, независимой от сети рабочего освещения, начиная от шита трансформаторной подстанции или от ВРУ.

При наличии двухтрансформаторной подстанции рабочее и эвакуационное и аварийное освещение следует присоединять к разным трансформаторам. Если в здании встроены две подстанции или более, целесообразно питание эвакуационного и аварийного освещения ответственных помещений присоединять к разным подстанциям. Такое присоединение называется перекрестным. Линии, питающие холодильные установки на предприятиях торговли и общественного питания, должны быть отдельными, с тем чтобы отключение других электроприемников не приводило к отключению холодильного оборудования.

8.3. СИЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

Силовые распределительные пункты должны располагаться в центре нагрузок или с некоторым смещением в сторону питания, как правило, на тех же этажах, где расположены электроприемники. Силовые электроприемники, присоединяемые к распределительным пунктам, группируются с учетом их технологического назначения. В целях экономии проводов и кабелей и уменьшения количества аппаратов защиты на распределительных пунктах электроприемники небольшой мощности объединяются в «цепочки». При этом в цепочку можно соединять:

а) на предприятиях общественного питания и торговли — не более четырех электроприемников мощностью до 3 кВт;

б) в учебно-производственных мастерских учебных заведе-

ний — до пяти силовых электроприемников станочного оборудования;

в) в лабораториях учебных заведений — не более трех лабораторных щитков;

г) в магазинах число кассовых аппаратов, швейных машин в кабинетах домоводства, в пошивочных цехах ателье и комбинатов бытового обслуживания населения, машин по ремонту и отделке обуви — не ограничено.

Электроприемники, соединяемые в цепочку, должны быть равными или близкими по установленной мощности.

Аппараты управления, например магнитные пускатели, контакторы, кнопочные посты, в зависимости от местных условий устанавливаются:

а) рассредоточенно или группами вблизи управляемых механизмов;

б) в шкафах станций управления;

в) в изолированных электротехнических помещениях, нишах строительных конструкций, шкафах и т. п. при условии соблюдения требований техники безопасности.

Присоединение электроприемников холодильного, механического и технологического оборудования предприятий торговли и общественного питания выполняется по схемам, широко применяемым в практике проектирования электрооборудования общественных зданий массового строительства. Специфика схем, в которых предусмотрены в некоторых ограниченных случаях дополнительные коммутационные аппараты, обусловлена отсутствием на этих предприятиях квалифицированного обслуживающего персонала.

8.4. ГРУППОВЫЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

Групповые распределительные щитки осветительной сети целесообразно, как и в силовых сетях, размещать в центре нагрузок со смещением по возможности в сторону источника питания. Однако по условиям архитектурно-планировочных решений и интерьера помещений от этой рекомендации приходится отступать, располагая щитки на лестничных клетках, в коридорах в специальных шкафах-нишах, предусматриваемых в архитектурно-строительной части проекта.

Отходящие от щитков групповые линии могут быть однофазными (фаза плюс нуль), двухфазными (две фазы плюс нуль) и трехфазными четырехпроводными (три фазы плюс нуль). Аппараты защиты в нулевых проводах устанавли-

вать не разрешается, за исключением взрывоопасных помещений класса В-I, где в целях повышения взрывобезопасности аппараты защиты устанавливаются не только в фазных, но и в нулевых проводах, а для зануления прокладывается отдельный защитный проводник.

Рекомендации для выбора той или иной схемы групповой линии не могут быть однозначными, так как в значительной степени зависят от протяженности, количества светильников, их расположения, удобства управления и эксплуатации, а также обеспечения нормируемых уровней коэффициента пульсации при люминесцентном освещении в помещениях с напряженной зрительной работой. Надо помнить, что предпочтение следует отдавать трехфазным четырехпроводным групповым линиям, обеспечивающим втрое большую нагрузку и в 6 раз меньшую потерю напряжения по сравнению с однофазными групповыми линиями, но при вдвое большей протяженности проводов. В небольших помещениях, где нет особых требований к качеству освещения и установлено небольшое количество светильников, применяются однофазные групповые линии. В помещениях коридорного типа с большим числом мелких помещений по коридору прокладывается четырехпроводная групповая линия, а ответвления в комнаты выполняются двухпроводными.

Ниже приводятся некоторые указания норм по устройству групповых сетей электрического освещения:

а) питание штепсельных розеток местного освещения следует, как правило, выделять в отдельные групповые линии, если это не связано с существенным увеличением протяженности сети;

б) к групповым линиям освещения лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подполий, подвалов и чердаков, как и в жилых зданиях, допускается присоединять до 60 люминесцентных ламп или ламп накаливания мощностью до 65 Вт включительно на фазу. Для линий, питающих многоламповые люстры, число ламп на фазу не ограничивается;

в) при прокладке по общим трассам рекомендуется объединение нулевых проводов линий одного вида освещения (преимущественно для линий, принадлежащих к разным фазам сети). Объединение нулевых проводов линий рабочего и эвакуационного и аварийного освещения не разрешается;

г) общие для нескольких линий нулевые провода при

проводке в трубах должны прокладываться совместно с фазными проводами;

д) выключатели должны устанавливаться только на фазных проводах, за исключением случаев, предусмотренных гл. 7.3 ПУЭ для взрывоопасных помещений класса В-I. При питании многоламповых светильников четырех- или трехпроводными линиями следует предусматривать одновременное отключение всех фазных проводов;

е) распределение нагрузок между фазами сети освещения должно быть по возможности равномерным, разница в токах наиболее и наименее нагруженной фазы не должна превышать 30 % в пределах одного щитка и 10 % в начале питающих линий;

ж) в трехфазных протяженных группах рекомендуется присоединять отдельные светильники к фазам сети в следующем порядке: А, В, С, А, В, С в случаях, когда при отключении одной или двух фаз необходимо сохранить уменьшенную освещенность по всей площади помещения, например торгового зала, конференц-зала и т. п., и А, В, С, С, В, А, если такого требования нет;

з) управление общим освещением рекомендуется осуществлять следующим образом:

в помещениях с боковым естественным освещением предусматривать отключение светильников рядами, параллельными окнам;

на одно отключение объединять только светильники, требующие одновременного действия по условиям технологического процесса, например прилавки в магазинах, проходы в книгохранилищах или складах и т. п.;

в крупных помещениях, таких, как торговые и обеденные залы, конференц-залы, вестибюли гостиниц, помещения приема заказов домов быта, а также в различных коридорах и проходах предусматривать возможность включения небольшой части светильников, создающих по всей площади освещенность, достаточную для уборки помещения. Для этой же цели могут быть использованы светильники эвакуационного и аварийного освещения;

и) управление эвакуационным и аварийным освещением должно предусматриваться со щитков при минимальном числе последних. Помещения с достаточным естественным освещением и без него должны питаться отдельными группами. Допускается применение для обоих видов помещений общих групп с установкой дополнительных выключателей для помещений, имеющих естественное освещение. Допол-

нительные выключатели следует предусматривать также для аварийного и эвакуационного освещения отдельных непроходных помещений, в которых люди не находятся постоянно (гардеробы, конференц-залы и т. п.);

к) светильники у входов в здания следует присоединять к групповой сети внутреннего освещения, преимущественно к сети аварийного освещения;

л) светильники и штепсельные розетки местного и переносного освещения при напряжении 12—42 В следует питать от понижающих трансформаторов, присоединяемых к сети рабочего или эвакуационного освещения (в последнем случае только отдельными группами). Применение автотрансформаторов не допускается.

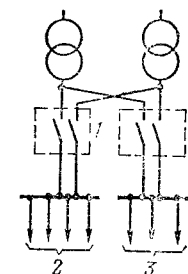
8.5. ПРИМЕРЫ КОМПЛЕКСНЫХ СХЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

Для питания ответственных потребителей в крупных городах широко применяются двухтрансформаторные подстанции с устройством АВР на контакторных станциях на стороне низшего напряжения. Упрощенная схема такой подстанции приведена на рис. 8.1, где 1 — контакторные станции, 2, 3 — отходящие линии к вводам в здания, в которых устанавливаются ВРУ, схемы которых подобны приведенным в гл. 7.

При размещении подстанции в здании с электроприемниками I категории применяется устройство АВР на абонентском щите с установочными автоматическими выключателями. Упрощенная схема приведена на рис. 8.2, где автоматические выключатели 1 установлены на линиях от трансформаторов; 2 — секционный выключатель, включающийся автоматически при отключении одного из автоматических выключателей 1. Линии 3 отходят к распределительным пунктам силовой сети и щиткам эвакуационного и аварийного освещения, линии 4 — к групповым щиткам рабочего освещения.

Пример построения типичной схемы электрооборудования магазина приведен на рис. 8.3. От отдельно стоящей подстанции проложены две взаимно резервируемые кабельные питающие линии 1 и 2. Кабели рассчитаны на нагрузку в нормальном и аварийном режимах (при выходе из строя одного из кабелей вся нагрузка переключается с помощью переключателей 3 и 4 на кабель, оставшийся в работе).

Рис. 8.1. Схема питания общественного здания от двухтрансформаторной подстанции с АВР на контакторах



После переключателей установлены комплекты аппаратов защиты 5 и 6 (чаще всего токоограничивающие предохранители). Учет расхода активной электроэнергии осуществляется счетчиками 7 и 8, включенными через трансформаторы тока.

Питающие линии и часть групповых линий рабочего освещения отходят от панелей ВРУ, подключенных к вводу 1. От групповых щитков освещения 9 отходят групповые линии непосредственно к светильникам. От второго ввода отходят питающие линии к силовым распределительным пунктам 10 и шкафам станций управления (ШУ), в которых установлены аппараты защиты и управления. От распределительных пунктов и ШУ отходят линии силовой распределительной сети к электроприемникам. К этому же вводу подключено эвакуационное и аварийное освещение. Все питающие линии имеют аппараты защиты 11 (автоматические выключатели), служащие для защиты линий от КЗ и перегрузок.

Пример подключения силовых электроприемников к распределительному пункту дан на рис. 8.4 и особых разъяснений не требует. На рассмотренных схемах наносятся все необходимые параметры электрических сетей, определяемые расчетом при проектировании. Эти схемы называют однолинейными расчетными схемами.

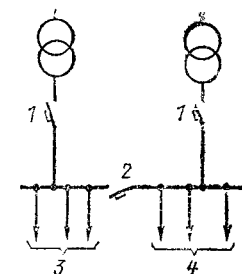


Рис. 8.2. Схема питания общественного здания с встроенной ТП и абонентским щитом с АВР на автоматических выключателях

части «Указаний по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях».

В общественных зданиях, потребители которых не относятся к вышеуказанной категории, установка устройств компенсации не требуется.

При необходимости отнесения потребителей общественных зданий к группе промышленных и приравненных к ним или к другим группам потребителей следует руководствоваться рекомендациями «Правил пользования электрической энергией» и прейскурантом «Тарифы на электрическую энергию, отпускаемую энергосистемами и электростанциями Минэнерго СССР».

К зданиям промышленного назначения, в частности, относятся фабрики химчистки и прачечные.

Раздел четвертый

РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Глава девятая

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, НАГРЕВАНИЕ ПРОВОДНИКОВ

9.1. ЗАДАЧИ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Расчет электрической сети зданий должен производиться с учетом следующих основных положений:

1) провода не должны перегреваться при прохождении расчетного тока нагрузки сверх допустимого значения;

2) отклонения напряжения на зажимах электроприемников должны находиться в допустимых пределах, установленных ГОСТ на качество электрической энергии у ее приемников;

3) снижения напряжения, вызванные кратковременными изменениями нагрузки, например включением коротко-

замкнутых асинхронных электродвигателей, не должны превышать значений, установленных вышеуказанным ГОСТ, и вызывать нарушения работы действующих электроприемников;

4) механическая прочность проводов должна быть не ниже допустимой для данного вида электропроводки;

5) при выборе схемы и расчетах питающих сетей целесообразно учитывать экономические факторы, характеризующиеся наименьшими приведенными затратами;

6) распределение допустимых потерь напряжения по участкам внутренней сети целесообразно производить из условия наименьших затрат проводниковых материалов с учетом п. 5;

7) аппараты защиты должны обеспечивать защиту всех участков сети от КЗ, а в некоторых случаях, предусмотренных ПУЭ, и от перегрузки. Кроме того, эти аппараты не должны срабатывать при кратковременных повышениях токов нагрузки, возможных при нормальных режимах работы сети, например при включении короткозамкнутых электродвигателей, электромагнитов клапанов противопожарных устройств и т. д. Аппараты защиты должны по возможности работать избирательно, т. е. обеспечивать селективное отключение поврежденного участка. Исходными данными для расчета сети являются электрические нагрузки, определение которых подробно рассмотрено в гл. 3, 4.

9.2. НАГРЕВАНИЕ ПРОВОДНИКОВ

При прохождении тока по проводнику выделяется теплота, Дж, количество которой определяется уравнением

$$Q = I^2 R t, \quad (9.1)$$

где I — ток, А; R — активное сопротивление проводника, Ом; t — время, с.

Часть энергии, передаваемой по проводнику, переходит в теплоту, расходуемую вначале на нагрев проводника до определенной температуры, а затем на поддержание установившегося режима, т. е. теплового равновесия. При установившемся режиме температура проводника при неизменном токе и тепловом состоянии окружающей среды остается постоянной, а количество теплоты, которое получает проводник в единицу времени, становится равным количеству теплоты, отдаваемому в тот же промежуток времени в окружающую среду. Температура, при которой наступает

тепловое равновесие, называется установившейся. Чем больше ток, тем выше установившаяся температура.

В тепловых расчетах удобно пользоваться температурой перегрева (а не абсолютной температурой проводника), которая представляет собой разность температур проводника и окружающей среды, °C:

$$\tau = \theta_{\text{пр}} - \theta_{\text{о.с.}} \quad (9.2)$$

Чрезмерный перегрев проводников вызывает ускоренное старение изоляции и создает угрозу пожара. Кроме того, ухудшаются контактные соединения за счет их интенсивного окисления. Для проводов с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией, шнуров с резиновой изоляцией и кабелей в свинцовой или поливинилхлоридной оболочке с резиновой изоляцией ПУЭ установлена наибольшая длительно допустимая температура нагрева жил 65 °C. Процесс изменения температуры перегрева, °C, проводника током в зависимости от времени описывается формулой

$$\tau = \tau_{\text{уст}} (1 - e^{-t/T}), \quad (9.3)$$

где $\tau_{\text{уст}}$ — установившийся перегрев для данной токовой нагрузки, °C; t — время, мин; T — постоянная времени нагрева, т. е. время, за которое температура перегрева проводника достигла бы установившегося значения $\tau_{\text{уст}}$ при отсутствии отдачи теплоты в окружающую среду, мин. Численно T равно отношению теплоемкости проводника к его теплоотдаче.

Процесс охлаждения проводника, °C, после отключения его от сети определяется уравнением

$$\tau = \tau_{\text{уст}} e^{-t/T}. \quad (9.4)$$

На рис. 9.1, а и б показаны кривые нагрева и охлаждения проводника соответственно.

Постоянные времени нагрева зависят от материала проводника, рода проводки, сечения и изоляции проводника. Средние значения T для проводов с резиновой изоляцией и алюминиевыми жилами приведены в табл. 9.1.

Для облегчения расчетов в табл. 9.2 приведены вычисленные значения $e^{-t/T}$ и $1 - e^{-t/T}$ при разных значениях t/T .

Из табл. 9.2 видно, что согласно уравнениям (9.3) и (9.4) за время, равное постоянной времени нагрева, температура перегрева проводника достигает 0,632 $\tau_{\text{уст}}$, при охлаждении за это время температура перегрева снижается до 0,368 $\tau_{\text{уст}}$. Практически за время $t = (3 \div 4)T$ температу-

Рис. 9.1. Кривые нагрева (а) и охлаждения (б) проводника

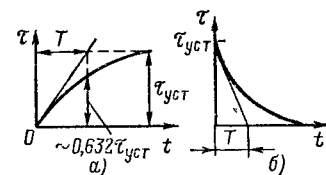


Таблица 9.1. Постоянная времени нагрева T для проводов с резиновой изоляцией и алюминиевыми жилами (приближенные значения)

Сечение жилы, мм ²	Постоянная времени T , мин			
	Одножильные провода, проложенные открыто и на опорах	Проложенные в одной трубе		
		два провода	три провода	четыре провода
4	2	2,1	2,5	3,4
6	2,6	3,4	4	5,3
10	3,6	5,7	6,4	8,1
16	4,8	7,9	9,4	11,6
25	6,1	11	13,3	16,6
35	7,6	13,3	16,6	20,4
50	10,2	16,2	20	24,1
70	12,7	18,7	23,4	28,1
95	15,5	22,4	27,2	31,9
120	18,2	25	31,6	35,7
150	20,7	28,4	34,8	40

Таблица 9.2. Значения $e^{-t/T}$ и $1 - e^{-t/T}$ при различных T

t/T	$e^{-t/T}$	$1 - e^{-t/T}$	t/T	$e^{-t/T}$	$1 - e^{-t/T}$
0,1	0,905	0,095	1,1	0,333	0,667
0,2	0,82	0,18	1,2	0,3	0,7
0,3	0,742	0,258	1,3	0,273	0,727
0,4	0,671	0,329	1,4	0,248	0,752
0,5	0,607	0,393	1,5	0,224	0,776
0,6	0,55	0,45	2	0,136	0,864
0,7	0,497	0,503	2,5	0,082	0,918
0,8	0,45	0,55	3	0,05	0,95
0,9	0,407	0,593	4	0,015	0,985
1	0,368	0,632	5	0,006	0,994

ра проводника достигает установившегося значения. Таким образом, принимая по табл. 9.1 постоянную времени нагрева, можно сразу определить, за какое время темпера-

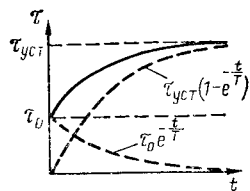


Рис. 9.2. Изменение перегрева при переменной нагрузке

тура проводника данного сечения при данных условиях прокладки достигнет установившегося значения, после чего нагрев проводника прекратится. Так, например, три провода марки АПРТО сечением 6 мм², проложенных в одной трубе, достигнут перегрева через 12—16 мин, а сечением 95 мм² — через 82—109 мин. Более подробно этот вопрос рассмотрен в примере 9.1.

При переменной нагрузке, когда требуется определить температуру перегрева, начинающегося с некоторого значения τ_0 , процесс нагрева можно рассматривать как сумму двух процессов: нагрева с $\tau=0$ до $\tau=\tau_{уст}$ и охлаждения с $\tau=\tau_0$ до $\tau=0$.

Этот процесс может быть выражен уравнением

$$\tau = \tau_{уст} (1 - e^{-t/T}) + \tau_0 e^{-t/T} \quad (9.5)$$

и иллюстрируется рис. 9.2.

9.3. ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ НАГРУЗКИ ПРОВОДНИКОВ

Определенному значению длительно проходящего тока при неизменных температурах окружающей среды и условиях прокладки соответствует и определенная температура проводника. Соответственно наибольшей допустимой температуре нагрева проводника устанавливается значение длительно допустимого тока, нормируемое ПУЭ. Это значение зависит от материала, сечения проводника, температуры окружающей среды, материала изоляции и способа прокладки.

Длительно допустимые нагрузки могут определяться на основе теплового расчета, однако, в особенности для изолированных проводов и кабелей, формулы получаются сложными, и поэтому в ПУЭ даются готовые таблицы допустимых токовых нагрузок, которые получены как расчетным, так и экспериментальным путем. В ПУЭ приведены средние температуры окружающей среды, для которых составлены

таблицы. Если температура окружающей среды существенно отличается от нормированной, то допустимые токовые нагрузки следует пересчитать, умножая нормированную нагрузку на коэффициенты, приведенные в ПУЭ.

Допустимые нагрузки на изолированные провода и кабели с алюминиевыми жилами для различных условий прокладки, а также поправочные коэффициенты на температуру воздуха даны в табл. 9.6 и в ПУЭ. В гл. 10 даны необходимые указания по выбору плавких вставок предохранителей и расцепителей автоматических выключателей.

При наличии данных о допустимых токовых нагрузках и установившейся температуре (перегреве) проводника можно решать с достаточной для практики точностью задачи по определению установившейся температуры (перегрева) при токовых нагрузках, отличающихся от допустимых. Так, перегрев τ_1 , °С, при токе I_1 связан с длительно допустимым током $I_{доп}$ и допустимым перегревом $\tau_{доп}$ следующим выражением:

$$\tau_1 = \tau_{доп} / I_{доп}^2 \quad (9.6)$$

При выводе формулы (9.6) не учитывалось изменение сопротивления проводника в зависимости от его температуры, так как при реально возможных перегревах проводов сети оно не имеет существенного значения. Строго говоря, формула (9.6) отражает закономерность нагрева голых проводников. Однако несмотря на различные условия охлаждения неизолированных и изолированных проводов, можно считать, что пересчет температур перегрева для последних по формуле (9.6) не дает заметных ошибок.

Выбор сечений проводов по допустимому нагреву при длительном режиме работы производится по формуле

$$I_{доп} \geq I_{max} / K_n \quad (9.7)$$

где I_{max} — расчетный ток нагрузки, А; K_n — поправочный коэффициент на температуру окружающей среды (по ПУЭ).

Расчетный ток нагрузки, А, определяется по формулам:

а) для трехфазной четырехпроводной и трехпроводной сетей

$$I_{max} = P_{max} \cdot 10^3 / (\sqrt{3} U_{ном} \cos \varphi); \quad (9.8)$$

б) для двухфазной сети с нулевым проводом при включении электроприемников на фазное напряжение

$$I_{max} = P_{max} \cdot 10^3 / (2 U_{ф} \cos \varphi); \quad (9.9)$$

в) для однофазной сети

$$I_{max} = P_{max} \cdot 10^3 / (U_{\phi} \cos \varphi), \quad (9.10)$$

где P_{max} — расчетная максимальная нагрузка, кВт; $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение, В; U_{ϕ} — номинальное фазное напряжение, В.

Для сетей, питающих газоразрядные лампы, при определении расчетного тока следует вводить повышающий коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующих аппаратах (ПРА), по следующим средним данным, которые приняты в проектной практике: для люминесцентных ламп при стартерных схемах зажигания — 1,2; при бесстартерных — 1,3; для ламп типа ДРЛ и ДРИ — 1,1.

Коэффициент мощности $\cos \varphi$ следует принимать для линий, питающих электроприемники квартир, на основе указаний гл. 3; для электроприемников общественных зданий — по указаниям гл. 4. Для светильников с люминесцентными лампами рекомендуется принимать коэффициент мощности равным 0,95 для светильников с компенсированными ПРА и 0,5 с некомпенсированными ПРА, а с лампами типа ДРЛ, ДРИ — 0,57.

При выборе сечений проводов по условиям допустимого нагрева кроме указанного выше необходимо учитывать следующее:

1. В трехфазных четырехпроводных питающих линиях квартир имеет место постоянная неустранимая асимметрия токовых нагрузок в фазных проводах. Поэтому ПУЭ требуют принимать сечения нулевых проводов равными сечениям фазных проводов при сечениях последних до 25 мм² включительно (по алюминию). При больших сечениях фазных проводов сечения нулевых проводов должны выбираться не менее 50 % сечений фазных проводов, но не менее 25 мм².

2. Для двухфазных и однофазных линий сечения нулевых проводов принимаются равными сечениям фазных проводов.

3. При выборе сечений нулевых проводов сетей освещения с газоразрядными лампами необходимо учитывать наличие в этих проводах токов высших гармонических составляющих, кратных трем, которые существуют вследствие не-синусоидальности кривых токов даже при равномерной нагрузке фаз. В связи с тем что в этих случаях ток в нулевом проводе может достигать, особенно при компенсированных ПРА, 85—90 % тока в фазном проводе, сечения

нулевых проводов следует принимать равными сечениям фазных проводов.

4. При прокладке проводов в коробах и лотках допустимую токовую нагрузку следует принимать: а) при прокладке проводов в лотках в один горизонтальный ряд — как для открыто проложенных проводов; б) при прокладке проводов в коробах и лотках пучками — как для проводов, проложенных в трубах.

5. При прокладке более четырех проводов в трубах, коробах, а также в лотках пучками следует принимать допустимую токовую нагрузку: а) для 5—6 одновременно нагруженных проводов — как для открыто проложенных проводов с коэффициентом 0,68; б) для 7—9 одновременно нагруженных проводов — как для открыто проложенных проводов с коэффициентом 0,63; в) для 10—12 одновременно нагруженных проводов — как для открыто проложенных проводов с коэффициентом 0,6.

Сечения проводов, проложенных в каналах строительных конструкций, а также замоноличенных проводок можно выбирать, как для проводов в трубах. При прокладке проводов в пластмассовых трубах или электротехнических плинтусах теплоотдача в окружающую среду ниже, чем при прокладке в металлических трубах. В результате исследований АКХ и ряда других организаций составлены таблицы допустимых нагрузок на указанные проводки, при этом допустимые нагрузки снижаются в среднем на 10—15 %.

6. Для четырехпроводных линий, проложенных в трубах или каналах строительных конструкций, питающих электроприемники (силовые и осветительные с лампами накаливания), допустимые токовые нагрузки принимаются, как для трех одножильных проводов, прокладываемых в одной трубе. Для таких же линий, питающих газоразрядные лампы, — как для четырех одножильных проводов, прокладываемых в одной трубе.

7. При повторно-кратковременном и кратковременном режимах работы сети (например, линии, питающие лифты) расчетную токовую нагрузку, А, следует приводить к длительному режиму по формуле

$$I_{п.дл.прив} = I_{п.дл.} \sqrt{ПВ/0,875} \leq I_{доп}. \quad (9.11)$$

Формула (9.11) применяется для алюминиевых проводов сечением более 16 мм². Для меньших сечений токовые

нагрузки, А, принимаются такими, как для длительного режима,

$$I_{\max} \leq I_{\text{доп}} \quad (9.12)$$

При этом имеется в виду, что $I_{\max}$ приведено к температуре окружающей среды [см. формулу (9.6)].

Пример 9.1. Четырехпроводная линия сечением $3(1 \times 50) + 1 \times 25 \text{ мм}^2$ питающая электроприемники квартир, выполнена алюминиевыми проводами марки АПВ и в течение некоторого времени нагружена, как показано в табл. 9.3. В течение 30 мин нагрузка остается постоянной. Температура окружающей среды $\theta_{0,c} = 25^\circ\text{C}$. Провода проложены в канале строительной конструкции.

Таблица 9.3. Изменение токовых нагрузок по часам суток (к примеру 9.1)

Часы (интервалы)	Нагрузка, А	Часы (интервалы)	Нагрузка, А	Часы (интервалы)	Нагрузка, А
9.00—9.30	30	14.00—14.30	30	19.00—19.30	100
9.30—10.00	25	14.30—15.00	40	19.30—20.00	120
10.00—10.30	25	15.00—15.30	40	20.00—20.30	130
10.30—11.00	20	15.30—16.00	40	20.30—21.00	130
11.00—11.30	20	16.00—16.30	45	21.00—21.30	120
11.30—12.00	20	16.30—17.00	45	21.30—22.00	100
12.00—12.30	20	17.00—17.30	50	22.00—22.30	80
12.30—13.00	20	17.30—18.00	60	22.30—23.00	60
13.00—13.30	25	18.00—18.30	80		
13.30—14.00	25	18.30—19.00	80		

Определить температуру нагрева жил проводов за время работы сети.

Решение. 1. Согласно ПУЭ для температуры окружающей среды $\theta_{0,c} = 25^\circ\text{C}$ ($K_{\text{п}} = 1$) принимаем $I_{\text{доп}} = 130 \text{ А}$ ($I_{\text{доп}}$ принято по столбцу для трех проводов, проложенных в одной трубе, поскольку в сети нет газоразрядных ламп). При этом $\theta_{\text{доп}} = 65^\circ\text{C}$; $\tau_{\text{доп}} = 40^\circ\text{C}$.

2. Определяем отношение $I_{\max}^2 / I_{\text{доп}}^2$.

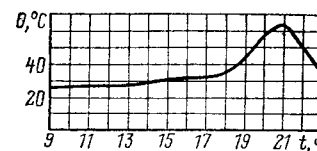
3. Вычисляем значения установившегося перегрева для всех токовых нагрузок по интервалам по формуле (9.6).

4. По табл. 9.1 принимаем постоянную времени нагрева $T = 20 \text{ мин}$. Тогда отношение интервала нагрузки к постоянной времени T равно $30/20 = 1,5$.

5. По табл. 9.2 принимаем $1 - e^{-t/T} = 0,776$ и $e^{-t/T} = 0,224$.

6. Определяем перегрев τ_i для каждого интервала времени по выражению (9.5).

Рис. 9.3. Кривая нагрева проводов (к примеру 9.1)



7. Определяем температуру провода

$$\theta_{\text{пр}} = \tau_t + \theta_{0,c} \quad (9.13)$$

8. На основании проведенных расчетов построена кривая изменения температуры проводов в течение времени, указанного в табл. 9.4 (рис. 9.3). Как видно из рисунка, допустимая температура нагрева 65°C имеет место в течение короткого промежутка времени. Благодаря этому процесс старения изоляции идет медленнее.

Таблица 9.4. Изменение температуры нагрева проводов по часам суток (к примеру 9.1)

Часы (интервалы)	$I_{\max}^2 / I_{\text{доп}}^2$	$\tau_{\text{уст}}$	τ_0	τ_t	θ_t
9.00—9.30	0,053	2,1	0	1,6	26,6
9.30—10.00	0,037	1,5	1,6	1,5	26,5
10.00—10.30	0,037	1,5	1,5	1,5	26,5
10.30—11.00	0,024	1	1,5	1,1	26,1
11.00—11.30	0,024	1	1,1	1	26
11.30—12.00	0,024	1	1	1	26
12.00—12.30	0,024	1	1	1	26
12.30—13.00	0,024	1	1	1	26
13.00—13.30	0,037	1,5	1	1,4	26,4
13.30—14.00	0,037	1,5	1,4	1,5	26,5
14.00—14.30	0,053	2,1	1,5	2	27
14.30—15.00	0,095	3,8	2	3,4	28,4
15.00—15.30	0,095	3,8	3,4	3,7	28,7
15.30—16.00	0,095	3,8	3,7	3,8	28,8
16.00—16.30	0,12	4,8	3,8	4,6	29,6
16.30—17.00	0,12	4,8	4,6	4,7	29,7
17.00—17.30	0,148	5,9	4,7	5,6	30,6
17.30—18.00	0,21	8,4	5,6	7,8	32,8
18.00—18.30	0,38	15,2	7,8	13,5	38,5
18.30—19.00	0,38	15,2	13,5	14,8	39,8
19.00—19.30	0,59	23,6	14,8	21,5	46,5
19.30—20.00	0,85	34	21,5	31,5	56,5
20.00—20.30	1	40	31,5	38,1	63,1
20.30—21.00	1	40	38,1	29,5	64,5
21.00—21.30	0,85	34	39,5	35,5	60,5
21.30—22.00	0,59	23,6	35,5	26,3	51,3
22.00—22.30	0,38	15,2	26,3	17,7	42,7
22.30—23.00	0,21	8,4	17,7	10,5	35,5

9.4. СТАРЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ

Процесс старения изоляции зависит от нагревания проводника и протекает на основе физико-химических закономерностей, согласно которым старение изоляции в относительных единицах выражается так называемым восьмиградусным правилом. Это значит, что каждые дополнительные 8°C (иногда применяется 6°) нагрева ускоряют процесс старения (сокращают срок службы) изоляции вдвое.

Закон старения изоляции, т. е. отношение скорости износа изоляции при фактических длительно существующих нагрузках к скорости износа изоляции при длительной нагрузке по ПУЭ, которая принимается за единицу, выражается следующим уравнением:

$$I = 2^{(\theta_t - \theta_{\text{доп}})/8} = 2^{(\tau_t - \tau_{\text{доп}})/8}, \quad (9.14)$$

где θ_t и $\theta_{\text{доп}}$ — температура нагрева жил проводов при фактически длительно существующих и длительно допустимых нагрузках по нормам, °C; τ_t и $\tau_{\text{доп}}$ — перегревы (превышения температуры) фактические и длительно допустимые по нормам, °C.

При переменном графике нагрузки общее относительное старение за интервал времени $\sum_1^n t$ выражается формулой

$$I = (I_1 t_1 + I_2 t_2 + \dots + I_n t_n) / \sum_1^n t, \quad (9.15)$$

где $I_1, I_2, \dots, I_n$ — относительные старения, рассчитанные по формуле (9.14) для каждого из интервалов графика нагрузки.

Если $I > 1$, то старение изоляции происходит скорее в I раз против нормы, что вызвано чрезмерным нагревом проводника. Напротив, при $I < 1$ старение идет замедленно, что свидетельствует о неполном использовании проводника.

Пример 9.2. Для условий нагрузки линий примера 9.1 определить общее относительное старение изоляции. Допустимый перегрев по нормам $\tau_{\text{доп}} = 40^\circ\text{C}$.

Решение. 1. Для каждого интервала времени по формуле (9.14) рассчитывается относительное старение изоляции. Данные расчетов сведены в табл. 9.5.

2. Определяем общее относительное старение изоляции:

$$I = 135,6/840 = 0,16.$$

Таблица 9.5. Относительное старение изоляции по часам суток (к примеру 9.2)

Интервалы	Продолжительность интервала t , мин	Перегрев в рассматриваемый период, °C	$\frac{\tau_t - \tau_{\text{доп}}}{8}$	$\frac{\tau_t - \tau_{\text{доп}}}{8}$ $n=2$	I , мин
9.00—9.30	30	1,6	—4,8	0,04	1,2
9.30—10.30	60	1,5	—4,9	0,03	1,8
10.30—11.00	30	1,1	—4,9	0,03	0,9
11.00—13.00	120	1	—4,9	0,03	3,6
13.00—13.30	30	1,4	—4,8	0,04	1,2
13.30—14.00	30	1,5	—4,9	0,03	0,9
14.00—14.30	30	2	—4,7	0,04	1,2
14.30—15.00	30	3,4	—4,7	0,046	1,4
15.00—15.30	30	3,7	—4,6	0,04	1,2
15.30—16.00	30	3,8	—4,5	0,045	1,4
16.00—16.30	30	4,6	—4,4	0,04	1,2
16.30—17.00	30	4,7	—4,4	0,04	1,2
17.00—17.30	30	5,6	—4,3	0,04	1,2
17.30—18.00	30	7,8	—4	0,09	2,7
18.30—19.00	30	14,8	—3,2	0,11	3,3
19.00—19.30	30	21,5	—2,3	0,2	6
19.30—20.00	30	31,5	—1,1	0,4	12
20.00—20.30	30	38,1	—0,2	0,85	25,5
20.30—21.00	30	39,5	—0,1	1	30
21.00—21.30	30	35,5	—0,6	0,64	19,4
21.30—22.00	30	26,3	—1,7	0,29	8,7
22.00—22.30	30	17,7	—2,8	0,17	5,7
22.30—23.00	30	10,5	—4,9	0,03	0,9
Итого	840				135,6

В рассматриваемом примере установлено недостаточное использование изоляции проложенных проводов. Это характерно для жилых и общественных зданий, графики нагрузки которых близки к приведенному в примере. Поэтому выбранные сечения проводов по условиям нагрева всегда оказываются не полностью использованными с точки зрения износа изоляции. Следует, однако, подчеркнуть, что применение повышенных нагрузок проводов для жилых и общественных зданий по сравнению с указанными в ПУЭ, что могло бы быть оправдано низким коэффициентом заполнения суточного графика нагрузки, невозможно из-за отсутствия в настоящее время теоретических и экспериментальных работ по данной проблеме.

Следует ожидать, что в будущем такие работы будут

ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

10.1. ВИДЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Даже в правильно спроектированной и эксплуатируемой электроустановке всегда остается вероятность появления аварийных режимов, которые могут привести к выходу из строя электрооборудования, иногда к пожару и уничтожению имущества, а также к резкому повышению опасности для соприкасающихся с ним людей.

К аварийным режимам прежде всего относятся *короткие замыкания* одно-, двух- и трехфазные; последнее является наиболее тяжелым из КЗ, однако оно бывает значительно реже, чем однофазные и двухфазные КЗ. Чаще всего КЗ происходят в результате пробоя или перекрытия изоляции или из-за неправильной сборки схемы и неквалифицированного обращения с электроприборами.

Токи КЗ, ограниченные лишь весьма небольшими сопротивлениями короткозамкнутой цепи, могут достигать значений, в десятки раз превышающих номинальные токи присоединенных электроприемников, а также допустимые токи проводников. Токи КЗ оказывают значительное динамическое и термическое действие на токоведущие части и вызывают выход их из строя. Именно поэтому важно локализовать аварию — отключить в возможно короткий срок поврежденный участок сети.

Другим распространенным видом аварии в электрических сетях являются непредусмотренные нормальным режимом работы перегрузки, при которых имеет место прохождение по подводящим проводникам, в обмотках электродвигателей и трансформаторов повышенных токов, вызывающих их нагревание сверх допустимого. Перегрузки тоже могут принести большой вред, так как вызывают ускоренное старение и разрушение изоляции, что может, в свою очередь, привести к КЗ. Тем не менее перегрузки не приводят к немедленному выходу из строя электроустановок. Во многих случаях, особенно при наличии квалифицированного эксплуатационного персонала и достаточного контроля за режимом работы электрооборудования, такие перегрузки маловероятны.

выполнены, причем наряду с рассмотрением проблемы старения изоляции в комплексе следует учесть и такие важнейшие факторы, как ухудшение контактных соединений при повышенных нагревах и другие вопросы пожарной и электробезопасности, а также экономические факторы.

В табл. 9.6 приведены допустимые длительные нагрузки для проводников с алюминиевыми жилами. Для четырехжильных кабелей токи последнего столбца умножаются на 0,92.

Таблица 9.6. Допустимые длительные нагрузки, А, для проводников с алюминиевыми жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией						Кабели с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и негорючей резиновой оболочках, бронированные и небронированные, прокладываемые открыто	
	прокладываемые открыто	прокладываемые в общей трубе					двух- жильные	трех- жильные
		два одно- жильных	три одно- жильных	четыре одно- жильных	пять- шесть од- ножиль- ных	семь-де- вять од- ножиль- ных		
2	21	19	18	15	—	—	—	—
2,5	24	20	19	19	16	15	21	19
3	27	24	22	21	—	—	—	—
4	32	28	28	23	22	20	29	27
5	36	32	30	27	—	—	—	—
6	39	36	32	30	27	25	38	32
8	46	43	40	37	—	—	—	—
10	60	50	47	39	41	38	55	42
16	75	60	60	55	51	47	70	60
25	105	85	80	70	71	66	90	75
35	130	100	95	85	—	—	105	90
50	165	140	130	120	—	—	135	110
70	210	175	165	140	—	—	165	140
95	255	215	200	175	—	—	200	170
120	295	245	220	200	—	—	230	200
150	340	275	255	—	—	—	270	235
185	390	—	—	—	—	—	310	270
240	465	—	—	—	—	—	—	—
300	535	—	—	—	—	—	—	—
400	645	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. При прокладке проводов скрыто (под штукатуркой, в каналах, бороздах, замоноличенных и т. п.) допустимые нагрузки принимаются, как для проводов, проложенных в трубах.

Ниже приведены основные требования в отношении защиты сетей до 1 кВ применительно к жилым и общественным зданиям (ПУЭ, гл. 3.1).

Защита от коротких замыканий. Все электрические сети жилых и общественных зданий должны иметь защиту от токов КЗ с наименьшим временем отключения и обеспечением по возможности требований селективности. При этом защита должна обеспечивать отключение аварийного участка при КЗ в конце защищенной линии: а) однофазных и многофазных — в сетях с глухозаземленной нейтралью; б) двухфазных и трехфазных — в сетях с изолированной нейтралью. Минимальные кратности токов КЗ, при которых обеспечивается работа защиты, и методика расчета токов КЗ приведены в гл. 15.

Требование о наименьшем времени отключения обеспечивается правильным выбором аппаратов защиты, их надлежащей конструкцией и защитной характеристикой. Что касается селективности действия, то ПУЭ требуют ее соблюдения лишь по возможности. Существо вопроса состоит в том, что токи КЗ проходят через все аппараты защиты, установленные в цепи, начиная от источника питания, а не только через аппараты, ближайшие к месту повреждения.

Одновременное мгновенное срабатывание всех аппаратов защиты цепи неизбежно вызвало бы прекращение питания большой группы электроприемников, подключенных к исправным участкам цепи. Такой перебой в электроснабжении при КЗ в любом элементе сети, конечно, крайне нежелателен. Следовательно, целесообразно так выбирать и размещать аппараты защиты, чтобы их срабатывание происходило с некоторым сдвигом по времени (выдержкой времени) по мере их удаления в сторону источника питания или головного участка сети. В этом и заключается избирательность (селективность) действия защиты, которая при применяемых в настоящее время в сетях до 1 кВ аппаратах защиты (предохранители и автоматические выключатели) может быть достигнута не всегда.

При больших значениях токов КЗ возможны неселективные срабатывания защиты вследствие разброса характеристик, особенно предохранителей. Вместе с тем опасная задержка с отключением поврежденного участка опасна, так как может привести к еще большим повреждениям.

Поэтому при проектировании приходится решать вопрос о том, что важнее: добиваться скорости отключения или

обязательно добиваться селективности. По-видимому, для жилых и большинства общественных зданий первое требование следует считать более важным. При этом надо еще учесть, что соблюдение селективности во многих случаях может потребовать увеличения сечений проводов, т. е. удорожания всей электроустановки.

Лишь в крупных уникальных общественных зданиях или других особо ответственных объектах (музеи, театры и т. п.), несмотря на перерасход проводникового материала, необходимо более серьезное внимание уделять селективности действия защиты, однако приоритет требования о быстром отключении остается в силе.

Защита от перегрузки. От перегрузки должны быть защищены все сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными незащищенными изолированными проводниками с горючей оболочкой. Кроме того, защите от перегрузки в жилых и общественных зданиях подлежат сети, выполненные защищенными проводниками, проводниками, проложенными в трубах, в негорючих строительных конструкциях, к которым присоединены *осветительные электроприемники*, а также *бытовые и переносные электроприемники* (утюги, чайники, электроплитки, комнатные холодильники, стиральные машины, пылесосы и т. п.).

Силовые сети защищают от перегрузки лишь при открытой прокладке этих сетей незащищенными изолированными проводниками с горючей оболочкой, а также и при скрытой прокладке или при открытой прокладке защищенными проводами и кабелями, но лишь в тех случаях, когда по условиям технологического процесса или режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводов и кабелей. Как правило, в жилых и общественных зданиях таких условий в силовых сетях не существует, поэтому они защищаются только от КЗ. Исключение составляют сети к силовым электроприемникам (лифты, противопожарные устройства и т. п.), относящиеся к I категории по надежности электроснабжения, при централизованной установке АВР (например, на ВРУ). Такие сети целесообразно защищать и от перегрузки.

10.2. АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ

Для защиты внутренних сетей жилых и общественных зданий 380/220 В применяются плавкие предохранители и автоматические воздушные выключатели.

Силовые электроприемники, кроме того, часто защищаются от перегрузок с помощью тепловых реле, встроенных в магнитные пускатели. Магнитные пускатели осуществляют при этом и защиту от самозапуска при кратковременном исчезновении напряжения. Самозапуск допускается лишь в системах дымозащиты и в цепях пожарных насосов, что следует учитывать при расчете сетей и выборе аппаратов защиты.

Однако главные контакты магнитных пускателей не рассчитаны на отключение токов КЗ. Кроме того, тепловые реле большинства существующих конструкций магнитных пускателей сами нуждаются в защите от КЗ, так как при прохождении токов КЗ нагревательный элемент может перегореть быстрее, чем реле успеет отключить электродвигатель. Поэтому при применении магнитных пускателей с тепловыми реле для защиты от перегрузок необходимо дополнительно устанавливать в этих цепях предохранители или автоматические выключатели для защиты от КЗ.

Разрешается считать эти реле термически стойкими без проверки расчетом, если ответвление к электроприемнику защищено плавкой вставкой с номинальным током, не превышающим наибольшего длительного допустимого тока теплового реле больше чем в 4 раза, или автоматическим выключателем, номинальный ток теплового расцепителя которого превышает длительно допустимый ток теплового реле более чем в 2 раза.

В данной книге детально не рассматриваются конструкции и принципы работы аппаратов защиты, поскольку по этим вопросам имеются детальные описания в технической литературе и каталогах. Здесь приводятся лишь некоторые технические данные предохранителей и автоматических выключателей некоторых серий, широко применяемых во внутренних сетях жилых и общественных зданий.

Предохранители. В настоящее время в силовых и осветительных сетях почти повсеместно устанавливаются предохранители серии ПН-2 с патронами, наполненными кварцевым песком. Внутри патрона располагается плавкая вставка. В таких засыпных предохранителях интенсивному дугогашению способствует разветвление дуги в тончайших промежутках между зернами песка. В результате резко снижается давление в патроне при испарении материала вставки. Денонизация и гашение дуги происходят настолько быстро, что при КЗ ток не успевает достигнуть своего амплитудного значения. Поэтому подобные предохранители

являются *токоограничивающими*. Так, например, предохранители серии ПН-2 с патронами на 100 и 250 А пропускают ток не более 5 кА при установке в сетях со значительно большими токами КЗ.

Предохранители серии НПН, выпускаемые на токи до 60 А, по принципу действия аналогичны предохранителям ПН-2. На квартирных щитках еще широко применяются плавкие пробочные предохранители Н-20.

В некоторых электроустановках можно встретить разборные предохранители с фибровой трубкой серии ПР-2, в которых дугогашение происходит за счет интенсивного выделения газов с поверхности фибры при перегорании вставки. Эти предохранители работают значительно хуже засыпных.

В табл. 10.1 приведены основные технические данные предохранителей ПР-2, ПН-2 и НПН.

Таблица 10.1. Технические данные некоторых типов предохранителей

Тип предохра- нителя	Номи- нальный ток патрона, А	Номинальный ток плавкой вставки, А	Конструкция патро- на, А	Предельный ток отклю- чения при на- пряжении до 500 В, кА
ПР-2	15	6, 10, 15	Разборный без на- полнителя	—
	60	15, 20, 25, 35, 45, 60		—
	100	60, 80, 100		—
	200	100, 125, 160, 200		—
	350	200, 225, 260, 300, 350		—
	600	350, 450, 500, 600		—
	1000	600, 700, 850, 1000		—
ПН-2-100	100	30, 40, 50, 60, 100	Разборный с на- полнителем	50
ПН-2-250	250	80, 100, 120, 150, 200, 250		40
ПН-2-400	400	200, 250, 300, 350, 400		25
ПН-2-600	600	300, 400, 500, 600		25
ПН-2-1000	1000	500, 600, 750, 800, 1000		10
НПН-15	15	6, 10, 15	Неразборный с на- полнителем	—
НПН-60м	60	20, 25, 35, 45, 60		—

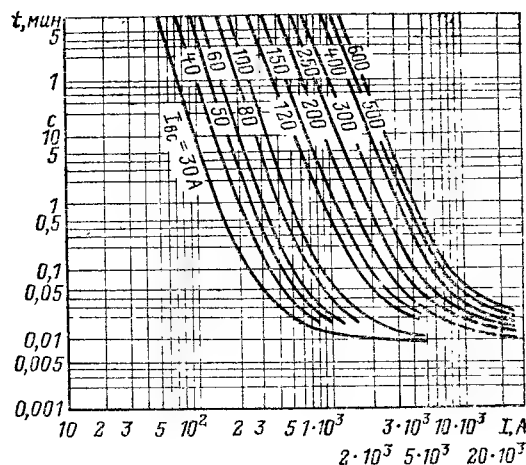


Рис. 10.1. Усредненные времятоковые характеристики предохранителей серии ПН-2

Защитные характеристики предохранителей. Время расплавления плавкой вставки предохранителя зависит от тока. Чем больше ток, тем быстрее расплавляется плавкая вставка. Зависимость полного времени отключения (продолжительность расплавления плавкой вставки и горения дуги) от отключаемого тока называется *времятоковой* или *защитной характеристикой*. Поскольку с повышением кратности тока время перегорания плавкой вставки уменьшается, характеристика называется *обратно-зависимой*.

На рис. 10.1 приведены усредненные времятоковые характеристики предохранителей ПН-2. Отметим, что в зависимости от производственных допусков, материала вставки, его старения, состояния контактных соединений, влияния окружающей среды время срабатывания при одном и том же токе может колебаться в значительных пределах (до $\pm 50\%$). Это является крупным недостатком плавких предохранителей, затрудняющим селективную работу защиты.

Рекомендуется для обеспечения избирательной работы предохранителей, чтобы каждая последующая в сторону источника питания плавкая вставка была на две ступеньки больше предыдущей, если это не приводит к увеличению сечения проводов. Разница в одну ступень является обяза-

тельной во всех случаях. Как отмечалось, для особо ответственных зданий выбор плавких вставок предохранителей должен производиться с учетом разброса по защитным характеристикам.

Автоматические выключатели являются более совершенными аппаратами защиты, обладающими рядом преимуществ:

1) при перегрузке или КЗ автоматический выключатель отключает все три фазы защищаемого ответвления, что особенно важно при защите ответвления к электродвигателю (предотвращается возможность работы на двух фазах);
2) автоматический выключатель после срабатывания вскоре снова готов к работе, в то время как в предохранителе требуется замена калиброванной вставки или даже патрона;

3) автоматические выключатели имеют более точные защитные характеристики, чем предохранители;

4) автоматические выключатели помимо функций защиты могут быть использованы для нечастых коммутаций цепей, в которых они установлены. Таким образом, они совмещают функции защиты и коммутации;

5) некоторые типы автоматических выключателей имеют встроенные вспомогательные контакты, используемые в цепях блокировки и сигнализации, а также независимые расцепители, позволяющие осуществлять дистанционное отключение. Выпускаются также автоматические выключатели с электроприводом, позволяющие производить дистанционное включение аппарата;

6) автоматические выключатели исключают возможность применения некалиброванных элементов, что, к сожалению, часто практикуется в установках с плавкими предохранителями.

Наиболее часто применяемые автоматические выключатели могут снабжаться тепловыми, электромагнитными или комбинированными расцепителями (последние представляют собой сочетание теплового и электромагнитного расцепителей). Время срабатывания тепловых расцепителей автоматических выключателей, так же как и предохранителей, уменьшается с увеличением тока, т. е. они имеют обратозависимую от тока характеристику. Электромагнитные расцепители срабатывают практически мгновенно при токе, на который они отрегулированы.

Расцепители характеризуются *номинальным током*, т. е. током, который они выдерживают неограниченно

долго, что гарантируется заводом-изготовителем. Наименьший ток, вызывающий отключение автоматического выключателя, называется током трогания или током срабатывания. Под уставкой расцепителя понимается настройка его на выбранное значение тока трогания. Уставка тока электромагнитного расцепителя на мгновенное срабатывание называется отсечкой. Важно подчеркнуть, что номинальный ток автоматического выключателя характеризует пропускную способность его контактных частей и соответствует номинальному току его наибольшего теплового расцепителя.

Автоматические выключатели разделяются на нерегулируемые и регулируемые. К первым относятся автоматические выключатели, уставки расцепителей которых отрегулированы на заводе-изготовителе и никаких приспособлений для регулировки в процессе монтажа и эксплуатации не имеют. Другая группа снабжена специальными приспособлениями, позволяющими менять ток уставки путем воздействий на механическую систему автоматического выключателя.

Некоторые типы автоматических выключателей (АВМ «Электрон») на большие токи (1000 А и более) снабжаются часовыми механизмами, с помощью которых возможно обеспечить селективную работу защиты.

В табл. 10.2 приведены некоторые технические данные автоматических выключателей типа АЕ20 и АЕ20М по каталогу Информэлектро 07.00.04—87.

Таблица 10.2. Номинальные токи автоматических выключателей и их расцепителей

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток максимальных расцепителей тока, А
АЕ2020	16	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16
АЕ2040	63	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
АЕ2040М	63	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
АЕ2050М	100	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100
АЕ2060	160	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160

Автоматические выключатели АЕ20 и АЕ20М бывают одно- и трехполюсные на напряжение до 660 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц и до 380 В частотой 400 Гц.

Коммутационная способность некоторых выключателей приведена в табл. 10.3.

В табл. 10.3 приведены данные для выключателей в цепях переменного тока 380 В (действующее значение). Выключатели могут иметь электромагнитный и тепловой рас-

Таблица 10.3. Коммутационная способность выключателей АЕ20 и АЕ20М

Тип выключателя	Степень защиты	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток расцепителя, А	Предельная коммутационная способность, кА	Одноразовая предельная коммутационная способность, кА
АЕ2020	IP00	16	0,3—1,6	4	12
	IP20		2—6 8—16	1 2	12 4
АЕ2040	IP00	63	10—12,5 16—25	2 3	6 6
	IP20		31,5—63	6	7
АЕ2040М	IP00	63	0,6—1,6	5	6,5
	IP20		2—12,5	1,5	6,5
	IP54		0,6—4	0,8	6,5
	IP00		5—12,5	1,5	6,5
	IP20 IP54		16—63	4,5	6,5
АЕ2050М	IP00	100	10—12,5	2,4	6
	IP20		16—25	3,5	6
	IP54			6	6
	IP00		31,5—100	5	7
	IP20 IP54				
АЕ2060	IP00	160	16—25	3,5	6
	IP20		31,5—40	6	6
			50—100	9	15
			125—160	11,5	17
	IP54		16—25 31,5—100 125, 160	3,5 7 7	6 15 17

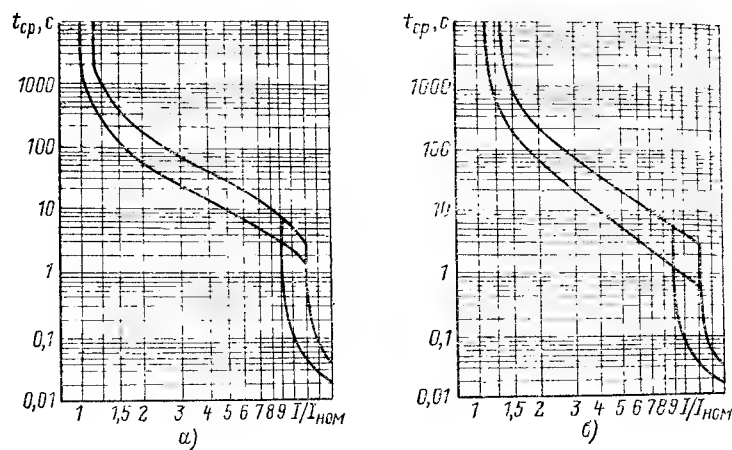


Рис. 10.2. Защитные характеристики выключателей серии АЕ20 с комбинированными расцепителями при температуре 20 °С:

а — с температурной компенсацией; б — без температурной компенсации

цепители или только электромагнитный. Возможно регулирование номинальных токов расцепителей в пределах 0,9—1,15 (только промежуточных значений номинального тока). Расцепители с номинальным током, равным номинальному току автоматического выключателя, регулируются только в сторону уменьшения.

На рис. 10.2 приведены защитные характеристики автоматических выключателей серии АЕ20 при наличии устройств температурной компенсации (рис. 10.2, а) и без температурной компенсации (рис. 10.2, б) и на рис. 10.3 дана зависимость кратности их тока срабатывания от температуры окружающей среды. Уставка электромагнитных расцепителей по току срабатывания в зоне КЗ (ток отсечки) для всех выключателей серии АЕ20 равна $12 I_p$. Электромагнитные расцепители не срабатывают при токе, равном 0,8 тока уставки, и срабатывают в течение 0,04 с при токе 1,2 тока уставки и более.

Автоматические выключатели серии АЗ700 выпускаются на номинальные токи 160, 250 и 630 А и широко применяются для установки на вводно-распределительных устройствах и распределительных щитах. Они предназначены для нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей до 220 В постоянного тока и до 380 В перемен-

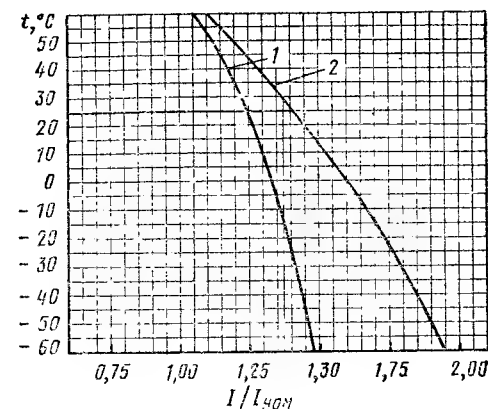


Рис. 10.3. Зависимость кратности тока срабатывания автоматических выключателей серии АЕ20 от температуры окружающей среды:

1 — с температурной компенсацией; 2 — без температурной компенсации

ного тока частотой 50 или 400 Гц, а также для защиты цепи при КЗ, перегрузках и недопустимых снижениях напряжения.

Автоматические выключатели изготавливаются двух- и трехполюсными и имеют стационарное и выдвижное исполнение, что обеспечивает большие удобства при конструировании блочных распределительных устройств. Защитными элементами в них являются электромагнитные, тепловые или те и другие (комбинированные) расцепители. Имеется также неавтоматическое исполнение.

В табл. 10.4 даны основные технические данные трехполюсных автоматических выключателей серии АЗ7 переменного тока напряжением до 380 В, частотой 50 Гц с электромагнитными и тепловыми расцепителями, применяемых в электроустановках жилых и общественных зданий.

Автоматические выключатели данной серии могут снабжаться дополнительно независимым расцепителем для дистанционного отключения, расцепителем минимального напряжения, отключающим выключатель при снижении напряжения до 30 % номинального, электромагнитным и ручным приводами и набором специальных контактов для работы в схемах управления.

Защитные характеристики выключателей серии АЗ7 с тепловыми расцепителями с обратозависимой от тока выдержкой времени приведена на рис. 10.4.

Таблица 10.4. Основные технические характеристики трехполюсных автоматических выключателей А37 переменного тока стационарного исполнения (до 380 В, 50 Гц)

Тип выключателя	Номинальный ток автоматического выключателя, А	Номинальный ток расцепителя, А		Номинальная установка тока расцепителя, А		Предельная коммутационная способность, удельный ток I_{Σ} при 380 В, 50 Гц, кА
		электромагнитного	тепловое	тепловое	электромагнитного	
А3716ФУЗ	160	160	16	18	630	5,3
			20	23	630	10
			25	29	630	15
			32	37	630 (1600)	20
			40	46	630 (1600)	20
			50	58	630 (1600)	25
			63	73	630 (1600)	25
			80	92	630 (1600)	25
			100	115	630 (1600)	25
			125	114	630 (1600)	25
			160	184	630 (1600)	25
А3726ФУЗ	250	250	160	184	2500	35
			200	230	2500	35
			250	288	2500	35
			320	368	3200	50
А3736ФУЗ	630	400	250	288	5000	50
			400	460	4000	50
			500	575	5000	50
			630	725	6300	50

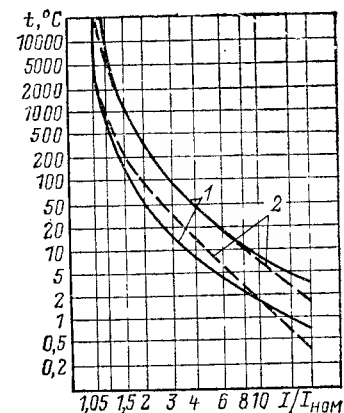
Примечания: 1. Ток, который выключатель может отключать 1 раз, после чего его дальнейшая работа не гарантируется, превышает предельную коммутационную способность на 2—3 кА. 2. Токи включения независимого расцепителя при напряжении 380 В для выключателей I и II величины составляют 4,3 А, III величины — 4,5 А. 3. Токи включения дистанционного привода при напряжении 380 В для выключателей I и II величины 6 А, III величины — 18 А. 4. Ток включения вспомогательных контактов 12 А, ток отключения 4 А. Предельная коммутационная способность 15 А. 5. Обозначения Ф — фениолпластиковый корпус; У — для умеренного климата; 3 — категория размещения.

Кроме описанных выше следует отметить широко применяемые двух- и трехполюсные автоматические выключатели АП50 с электромагнитными и тепловыми расцепителями, регулируемые в пределах $(0,6—1) I_{ном}$ на номинальные токи 1,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 16; 25; 40 и 50 А*, а также автоматические выключатели серии АК63, оборудованные

* Могут иметь два исполнения: в пластмассовом корпусе или с дополнительным (по заказу) металлическим корпусом (степень защиты IP54).

Рис. 10.4. Защитные характеристики тепловых расцепителей автоматического выключателя А37 при трехполюсной (для трехполюсного выключателя) и двухполюсной (для двухполюсного выключателя) нагрузке и температуре окружающего воздуха 40 °С:

1 — для выключателя I величины с тепловыми расцепителями на номинальный ток 100, 125 и 160 А переменного тока частотой 50 Гц; 2 — для выключателя II величины с тепловыми расцепителями на номинальный ток 160, 250 и 250 А переменного тока частотой 50 Гц



электромагнитными или электромагнитными с гидравлическим замедлением расцепителями, все еще выпускаемые однополюсные автоматические выключатели АБ25м с тепловыми расцепителями на номинальные токи 15, 20, 25 А, а также новые однополюсные автоматические выключатели АЕ1031 с комбинированными расцепителями 6, 10, 16, 25 А.

В последнее время разработана и внедряется серия автоматических выключателей ВА51 и ВА52 на токи 63, 100 и 160 А. В табл. 10.5 приведены некоторые технические данные выключателей ВА51 — нетокоограничивающих и ВА52 — токоограничивающих по каталогу Информэлектро 07.00.14—81.

Таблица 10.5. Номинальные токи автоматических выключателей и их расцепителей

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток максимальных расцепителей тока, А
ВА51-29	63	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
ВА51-31; ВА52-31; ВА51Г31; ВА52Г31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100
ВА51-33; ВА52-33; ВА51Г33; ВА52Г33	160	80; 100; 125; 160

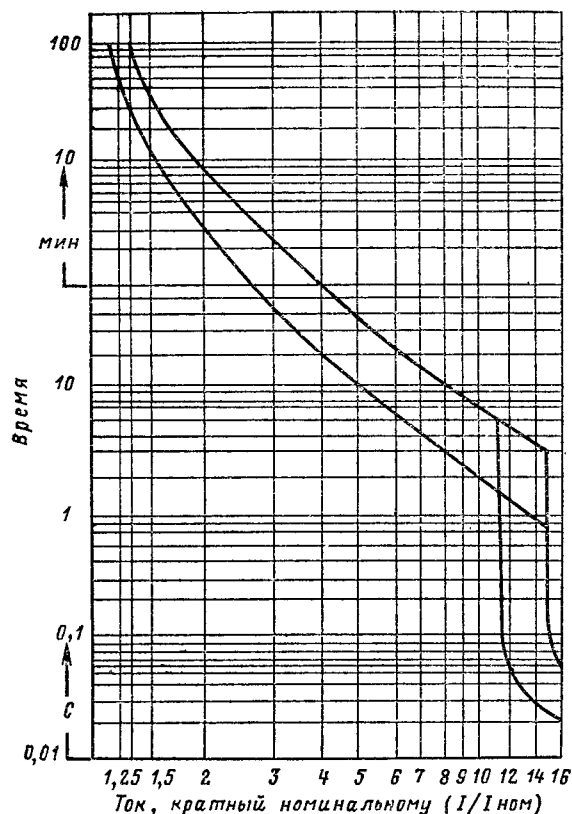


Рис. 10.5. Времятоковые характеристики выключателей серии ВА

Наличие буквы Г в обозначении типа автоматического выключателя означает, что данный выключатель предназначен для защиты электродвигателей. Автоматические выключатели этой серии бывают одно-, двух- и трехполюсные. Выключатели типа ВА51-29 предназначены для работы в цепях напряжением 380 В переменного тока частоты 50, 60 Гц и 110 В постоянного тока. Выключатели, предназначенные для защиты электродвигателей, могут работать в цепях напряжением 660 В переменного тока частоты 50, 60 Гц и 380 В переменного тока частоты 400 Гц. Остальные выключатели могут также работать в цепях напряжением 220 В постоянного тока. Степень защиты выключателей

этой серии от воздействия окружающей среды и от соприкосновения с токоведущими частями — IP30 (оболочки выключателя). Выключатели типа ВА51-29 бывают только однополюсные и могут иметь электромагнитный и тепловой максимальный расцепители или только электромагнитный. Выключатели, предназначенные для защиты электродвигателей, бывают только трехполюсные и имеют электромагнитные и тепловые максимальные расцепители во всех трех полюсах. Остальные выключатели могут быть двух- или трехполюсные с электромагнитными и тепловыми максимальными расцепителями или только электромагнитными соответственно в двух и трех полюсах.

Предельная коммутационная способность и одноразовая предельная коммутационная способность выключателей в цепи 380 В (действующее значение) приведены в табл. 10.6.

В автоматических выключателях данной серии предусмотрена возможность регулирования номинального тока тепловых расцепителей в пределах от 0,8 до номинального.

Таблица 10.6. Коммутационная способность выключателей ВА51 и ВА52

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток расцепителя, А	Предельная коммутационная способность, кА	Одноразовая предельная коммутационная способность, кА
ВА51-29	63	6,3—12,5	1,5	8
		16	2,5	8
		20; 25	3,5	8
ВА51-31	100	31,5—63	5	8
		16	3,8	12
		20; 25	5	12
		31,5—40	6	12
		50—63	6	12
ВА51-33 ВА51Г33	160	80—100	7	12
		80; 100; 125; 160	12,5	15
ВА51Г31	100	16—25	3	12
		31,5—40	6	12
		50—63	6	12
		80—100	7	12
ВА52-31 ВА52Г31	100	16—25	12	30
		31,5—40	15	30
		50—63	18	30
ВА52-33 ВА52Г33	160	80—100	25	30
		80; 100	28	30
		125; 160	35	38

На рис. 10.5 для примера приведены времятоковые характеристики выключателей типов ВА51Г31 и ВА52Г31 при температуре $+20^\circ\text{C}$.

10.3. ВЫБОР И РАЗМЕЩЕНИЕ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ

Выбор аппаратов защиты производится с учетом следующих основных требований:

1) напряжение и номинальный ток аппаратов должны соответствовать напряжению и расчетному длительному току цепи. Номинальные токи расцепителей автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей нужно выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам этих участков сети. Аппараты не должны отключать установку при перегрузках, возникающих в условиях нормальной эксплуатации, например при включении короткозамкнутого электродвигателя, одновременном включении группы ламп и т. п.;

2) аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение одно- и многофазных замыканий в сетях с глухозаземленной нейтралью;

3) должна быть обеспечена по возможности селективность действия защиты.

С учетом указанных требований следует выбирать плавкие вставки предохранителей и расцепители автоматических выключателей по соотношениям, приведенным в табл. 10.7, которые приняты на основании каталожных данных и защитных характеристик.

В табл. 10.7 и далее приняты следующие обозначения: $I_{\text{вс}}$ — номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А; I_p — номинальный ток теплового или комбинированного расцепителя, А; $I_{\text{уст,э.о}}$ — ток уставки (срабатывания) электромагнитного расцепителя мгновенного действия, А; I_{max} — расчетный ток нагрузки, А; $I_{\text{ном,э}}$ — номинальный ток электроприемника, А; $I_{\text{пуск}}$ — пусковой ток короткозамкнутого электродвигателя или другого электроприемника, А; $I'_{\text{пуск}}$ — наибольший пусковой ток одного электродвигателя в данной группе; при одновременном запуске группы электродвигателей суммарный пусковой ток этой группы, А; I'_{max} — расчетный ток остальных электродвигателей группы, работающих в длительном режиме, А; α — коэффициент, зависящий от условий и длительности пускового периода. Может приниматься равным 2,5 во всех слу-

Таблица 10.7. Расчетные формулы для выбора аппаратов защиты в осветительных и силовых сетях

Аппарат защиты	Осветительные сети			Силовые сети	
	Лампы накаливания	Люминесцентные лампы	Лампы ДРЛ, ДРИ, ДНАТ	Линии к однофазным электроприемникам	Линии к группам электроприемников
Плавкая вставка предохранителя	$I_{\text{вс}} \geq I_{\text{max}}$ $I_p \geq I_{\text{max}}$ $I_p \geq I_{\text{max}}^{**}$	$I_{\text{вс}} \geq I_{\text{max}}$ $I_p \geq I_{\text{max}}$ $I_p \geq I_{\text{max}}$	$I_{\text{вс}} \geq 1,2 I_{\text{max}}$ $I_p \geq 1,3 I_{\text{max}}$ $I_p \geq 1,3 I_{\text{max}}$	$I_{\text{вс}} \geq I_{\text{ном,э}}$ $I_{\text{вс}} \geq I_{\text{пуск}}/\alpha$ $I_p \geq 1,25 I_{\text{ном,э}}^{**}$	$I_{\text{вс}} \geq I_{\text{max}}$ $I_{\text{вс}} \geq (I'_{\text{пуск}} + I'_{\text{max}})/\alpha$ $I_p \geq 1,1 I_{\text{max}}^{**}$
Тепловой расцепитель автоматического выключателя с регулируемой и регулируемой обратной характеристикой от тока характеристикой с номинальным током расцепителя				$I_p \geq 1,25 I_{\text{ном,э}}^{**}$ $I_{\text{уст,э.о}} \geq 1,2 I_{\text{пуск}}$	$I_p \geq 1,1 I_{\text{max}}^{**}$ $I_{\text{уст,э.о}} \geq 1,2 (I'_{\text{пуск}} + I'_{\text{max}})$

* Формула дана для автоматических выключателей с кратностью тока отсечки не менее 10.

** При установке автоматических выключателей в шкафу повышающие коэффициенты не вводятся, так как формулы справедливы для температуры окружающей среды 40°C . Для линий к электроприемникам, не оборудованным электродами, коэффициенты 1,25 и 1,1 не вводятся.

Примечание. Приведенные в таблице коэффициенты приняты с учетом аперодической составляющей пускового тока.

чаях, за исключением линий к электродвигателям с длительностью пускового периода не более 2—2,5 с (крупные вентиляторы с большими маховыми массами, лифты и т. д.); в этих случаях принимается $\alpha = 1,6$.

Тепловые элементы реле, встраиваемые в магнитные пускатели, выбирают по формулам, приведенным в табл. 10.7 для автоматических выключателей с тепловыми расцепителями.

Нормируемые величины. Групповые линии сетей внутреннего освещения должны быть защищены предохранителями или автоматическими выключателями на ток не более 25 А. Исключением являются групповые линии, питающие газоразрядные лампы единичной мощностью 125 Вт и более или лампы накаливания 500 Вт и более, которые допускается защищать плавкими вставками предохранителей или расцепителями автоматических выключателей на ток до 63 А. Ток аппаратов защиты групповых линий, питающих лампы мощностью 10 кВт и более, должен соответствовать току лампы.

Для групповых линий, питающих осветительные и бытовые электроприемники квартир, плавкие вставки предохранителей или тепловые и комбинированные расцепители автоматических выключателей для групповой осветительной сети должны быть 16 А, штепсельной сети — также 16 А (при подключении кондиционера — 25 А); для самостоятельной группы питания бытовых машин до 4 кВт — 25 А, для группы питания электроплит до 5,8 кВт и до 8 кВт — соответственно 32 и 40 А; для линий от этажных щитков в газифицированных домах и домах с электроплитами до 5,8 кВт — 40 А, в домах с электроплитами от 5,9 до 8 кВт — 50 А.

Выбор сечений проводов и кабелей в соответствии с ПУЭ должен производиться наряду с выполнением других требований с соблюдением определенных соотношений между токами защитных аппаратов и допустимыми токами, т.е. пропускной способностью проводов и кабелей. В сетях, защищаемых от перегрузки, эти соотношения часто являются определяющими.

Условие соответствия номинальному току или току срабатывания защитного аппарата $I_{з,а}$ выражается следующим образом:

$$I_{доп} > I_{з,а} K_з / K_n, \quad (0.1)$$

где $K_з$ — кратность допустимого тока проводника по отно-

Таблица 10.8. Наименьшие значения коэффициента $K_з$ при защите сетей предохранителями и автоматическими выключателями

Характеристика сети	Аппараты			
	Предохранители	Автоматические выключатели, имеющие расцепители		
		тепловой или комбинированный с нерегулируемой обратной-зависимой от тока характеристикой	тепловой или комбинированный с регулируемой обратной-зависимой от тока характеристикой	электромагнитный мгновенного действия (отсечка)
Сети, защищаемые только от коротких замыканий	0,33	1	0,8	0,22
Сети, защищаемые от перегрузок:				
а) провода с поливинилхлоридной, резиновой или аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией	1,25	1*	1	1,25
б) кабели с бумажной изоляцией	1	1	0,8**	1

* Для проводников всех марок.

** Для кабелей с бумажной изоляцией и с изоляцией из вулканизированного полистилена.

Примечания: 1. У автоматических выключателей, имеющих одновременно тепловой и электромагнитный расцепители, $K_з$ проверяется только для теплового расцепителя (регулируемого и нерегулируемого).

2. Сечения проводов и кабелей для ответвлений к короткозамкнутым электродвигателям в сетях проложенных в невзрывоопасных помещениях и защищаемых от перегрузки, выбираются по номинальным токам электродвигателей (по взрывоопасных 1,25/ном).

3. Если требуемая допустимая токовая нагрузка проводника, определяемая по таблице, не совпадает с данными таблицы допустимых нагрузок по ПУЭ (табл. 9.6), то допускается применение проводника ближайшего меньшего сечения. Однако при этом допустимый ток проводника не должен быть меньше расчетного тока линии.

4. Ток срабатывания (тогания) может определяться по формуле $I_{ср} = 1,25 / p$.

шению к соответствующему току защитного аппарата; K_n — поправочный коэффициент на температуру окружающей среды.

Наименьшие значения $K_з$, установленные ПУЭ, приведены в табл. 10.8, где для плавкой вставки предохранителя $I_{з,а} = I_{вс}$, для теплового или комбинированного расцепителя нерегулируемого $I_{з,а} = I_p$, для регулируемого $I_{з,а} = I_{ср}$ (ток

срабатывания), для электромагнитного $I_{з.а} = I_{уст.з}$ (ток отсечки).

Как сказано выше, выбранные защитные аппараты и сечения проводов должны отвечать еще одному требованию: *должно быть обеспечено надежное срабатывание защиты при коротких замыканиях в конце линии.* Однако при обеспечении соотношений, указанных в табл. 10.8, в сетях, защищаемых только от КЗ, т.е. не требующих защиты от перегрузки, расчетная проверка кратностей токов КЗ может не производиться.

При размещении аппаратов защиты в электрической сети необходимо руководствоваться следующими указаниями ПУЭ и строительных норм СН 543-82, СН 544-82.

1. Аппараты защиты должны располагаться в местах, по возможности доступных для обслуживания, и таким образом, чтобы была исключена возможность их механических повреждений. Доступ к аппаратам защиты с открытыми токоведущими частями разрешается только квалифицированному персоналу. Установка должна выполняться так, чтобы исключить при работе с ней опасность для обслуживающего персонала или для окружающих предметов.

2. Аппараты защиты следует устанавливать во всех точках сети, где сечение проводников уменьшается по направлению к местам потребления электроэнергии.

3. Предохранители и автоматические выключатели должны устанавливаться на всех нормально незаземленных фазах. Установка аппаратов в нулевых проводах, в том числе в двухпроводных группах, не требуется. Исключение составляют сети во взрывоопасных помещениях класса В-I, где аппараты защиты устанавливаются в фазном и нулевом проводах. В этих помещениях для зануления прокладывается самостоятельный проводник.

4. На квартирных групповых щитах аппараты защиты (предохранители и автоматические выключатели) должны устанавливаться только в фазных проводах. Перед счетчиком устанавливается двухполюсный выключатель, отключающий не только фазный, но и рабочий нулевой провод ввода в квартиру; ГОСТ допускает устанавливать один такой выключатель на две или четыре квартиры, что связано с конъюнктурными соображениями, но ухудшает условия эксплуатации.

5. Установка аппаратов защиты в нулевых проводах, используемых для зануления, запрещается.

6. При использовании проводников с негорючей оболочкой или при прокладке их в трубах, а также при условии, что сечение проводников между питающей линией и защитным аппаратом взято не менее чем после защитного аппарата, допускается устанавливать аппараты защиты на расстоянии до 6 м от питающей линии. Открытая прокладка проводников на этом участке допускается только в неопасных помещениях по несгораемым поверхностям. Для ответвлений, выполненных проводниками в трубах или проводниками с негорючей оболочкой, прокладываемыми в труднодоступных местах (например, на большой высоте), длина незащищенного участка может быть до 30 м, при этом сечение проводов должно быть принято по расчетному току, но не менее 10 % пропускной способности защищенного участка линии.

7. Если это признано целесообразным по условиям эксплуатации, допускается также не устанавливать аппараты защиты: а) в месте снижения сечения питающей линии по ее длине и на ответвлении от нее, если защита предыдущего участка линии защищает участок со сниженным сечением или если незащищенный участок линии или ответвления от нее выполнен проводниками, сечения которых приняты не менее половины сечений защищенных участков; б) на ответвлениях от питающей линии проводников цепей измерения, управления и сигнализации, если эти проводники не выходят за пределы соответствующих машин или щитов либо эти проводники выходят за их пределы, но проложены в трубах или имеют негорючую оболочку; в) на ответвлениях проводников от шин щита к аппаратам, установленным на том же щите; при этом проводники должны выбираться по расчетному току цепи.

8. Установка аппаратов защиты запрещена в цепях управления и сигнализации, отключение которых может повлечь за собой опасные последствия (например, отключение пожарных насосов, аварийных вентиляторов и т.д.). Такие цепи следует выполнять проводниками с негорючей оболочкой или прокладывать в трубах.

9. Допускается устройство защиты различных участков одной сети предохранителями и автоматическими выключателями. При этом рекомендуется устанавливать предохранители на головных участках сети. Выбор аппаратов производится по их защитным характеристикам.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО ОТКЛОНЕНИЯМ И ПОТЕРЯМ НАПРЯЖЕНИЯ

11.1. ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Отклонения напряжения являются одним из основных критериев качества электроэнергии. В связи с изменением нагрузки в течение суток изменяются и отклонения напряжения, которые могут быть отрицательными в часы максимальных нагрузок и положительными в часы минимума, как правило, в ночное время.

Отклонения напряжения в процентах номинального напряжения на зажимах электроприемников выражаются формулой

$$V = (U_{\text{эл}} - U_{\text{ном}}) 100 / U_{\text{ном}} \quad (11.1)$$

где $U_{\text{эл}}$ — напряжение на зажимах электроприемника, В;
 $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение сети, В.

Ниже приведены предельные отклонения напряжения у потребителей:

Потребители	Предельное допустимое отклонение напряжения, %
Освещение жилых зданий	± 5
Рабочее освещение общественных зданий и помещений, в том числе встроенных в жилые дома (коммунально-бытовые предприятия, магазины и т.п.)	От ± 5 до ± 10
Эвакуационное и аварийное освещение	± 5
Электродвигатели при длительной работе в установившемся режиме	± 5
Электродвигатели (отдельные) особо удаленные	± 10
Освещение в аварийном режиме	± 12
Электродвигатели в квартирах, водонагреватели, кондиционеры и т.п. (по ГОСТ и техническим условиям на эти приборы)	± 10
На зажимах пускаемого электродвигателя:	
при частых пусках	$\pm 10^*$
при редких пусках	$\pm 15^*$
кратковременная работа в установившемся режиме (например, во время пуска присоединенного к той же сети электродвигателя)	$\pm 20^*$
Домашние холодильники, морозильники	От ± 10 до ± 15

* Приведенные отклонения напряжения могут быть увеличены в зависимости от начального момента приводимого механизма, пускового и максимального моментов электродвигателей (приводятся в каталогах), если это подтверждается специальным расчетом (см. гл. 12).

11.2. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

В электрических системах согласно действующим ПУЭ должно осуществляться встречное регулирование напряжения на шинах питающих подстанций 35 кВ и выше в пределах 0—5 % номинального напряжения. Применяются также достаточно широко силовые трансформаторы с автоматическим регулированием напряжения под нагрузкой со значительным диапазоном регулирования в пределах 15—20 %. Однако в большинстве случаев процесс регулирования осуществляется в соответствии с графиком нагрузки энергосистем, отличающимся вследствие высокого удельного веса промышленных, транспортных и других потребителей от графика коммунально-бытовых нагрузок.

В результате этого поддержание напряжения на зажимах электроприемников общественных и жилых зданий в пределах, близких к номинальному, без специальных средств местного регулирования в различное время суток крайне затруднительно. Существует ряд специальных технических средств для регулирования напряжения, таких, как конденсаторы продольной и поперечной компенсации, синхронные электродвигатели, последовательные регулировочные трансформаторы и т.д., однако регулирование напряжения в распределительных сетях городского типа среднего и низкого напряжения до настоящего времени, как правило, не производится.

Определенную положительную роль играют сезонные переключения витков обмотки высшего напряжения силовых трансформаторов городских подстанций 10/0,4 кВ в пределах $\pm 2,5$ %, однако эти переключения, естественно, не могут влиять на резкие повышения напряжения, например, в ночное время, когда электрические нагрузки в сети становятся минимальными, и именно в этот период вследствие повышения напряжения сверх номинального имеет место резкое старение ламп накаливания общедомового освещения и т.п. Следует отметить, что переход на освещение лестниц и коридоров с помощью менее чувствительных к изменениям напряжения люминесцентных и вообще газоразрядных ламп несколько улучшает положение. Вместе с тем в часы наибольших нагрузок требуется поддержание напряжения на уровне, близком к номинальному, что очень важно для большинства электроприемников как силовых, так и осветительных.

Из изложенного вытекает известная неопределенность

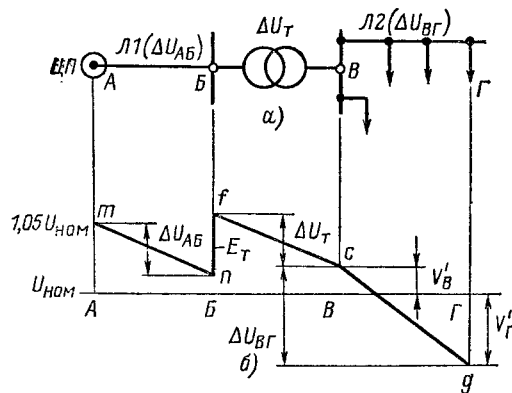


Рис. 11.1. Схема (а) и график (б) изменения напряжения в сети в период наибольшей нагрузки:

Л1 — линия среднего напряжения; Л2 — линия низкого напряжения

расчета сети по допустимым потерям напряжения и необходимость считаться с некоторой условностью такого расчета. Конечно, это не исключает важности расчета сети по данному параметру, без которого обеспечить нормальную работу сети, особенно в период пиковых нагрузок, не представляется возможным. В соответствии с указаниями ПУЭ при определении допустимой потери напряжения принимается, что на зажимах высшего напряжения (6—10 кВ) трансформаторов подстанций городского типа напряжение в период максимума равно номинальному и что, следовательно, напряжение на стороне 0,4 кВ при холостом ходе трансформаторов в этот период составляет $1,05U_{ном}$.

Влияние изменения напряжения сети по мере удаления от центра питания иллюстрирует график на рис. 11.1, построенный для периода работы сети в часы наибольших нагрузок. Изменение напряжения в линии высокого напряжения (отрезок mn) от центра питания до силового трансформатора ΔU_{AB} . Отрезок $nf = E_T$ показывает надбавку напряжения, обусловленную уставкой установленного на трансформаторе переключателя (ответвления) обмотки высшего напряжения, а отрезок fc характеризует потери напряжения в самом трансформаторе ΔU_T . Далее отрезок cg отражает потери напряжения в линии до условной точки Г

$\Delta U_{вг}$. Отклонения напряжения от $U_{ном}$ в точках Г и В изображены отрезками Gg ($V'_Г$) и cB ($V'_В$).

График построен при условии поддержания на центре питания напряжения на 5 % больше номинального, что имеет место на практике.

11.3. ДОПУСТИМАЯ (РАСПОЛАГАЕМАЯ) ПОТЕРЯ НАПЯЖЕНИЯ

При расчете электрических сетей по потерям напряжения всегда возникает вопрос о допустимой (располагаемой) потере напряжения. Эта величина не является постоянной. Как уже отмечалось, напряжение холостого хода на шинах низкого напряжения трансформаторов принимается равным 105 % номинального. Тогда общая потеря напряжения в сети, В, до наиболее удаленного электроприемника, включая потерю напряжения в трансформаторе, составляет

$$\Delta U_c = U_x - \Delta U_T - U_{уд.э}, \quad (11.2)$$

и с учетом вышесказанного, выражая все величины в процентах, получаем

$$\Delta U_c = 105 - \Delta U_T - U_{уд.э}. \quad (11.3)$$

Потери напряжения в трансформаторе, %, могут быть определены с достаточной для практических целей точностью по следующей формуле:

$$\Delta U_T = \beta_S (u_a \cos \varphi + u_p \sin \varphi), \quad (11.4)$$

где $\beta_S = I_{max}/I_{ном,т}$ — коэффициент загрузки трансформатора; $u_a = \Delta P_K / 10S_{ном,т}$ — активная составляющая напряжения КЗ, %; ΔP_K — потери мощности в обмотках трансформатора, Вт, принимаются по каталогу; $u_p = \sqrt{u_k^2 - u_a^2}$ — реактивная составляющая напряжения КЗ, %; u_k — напряжение КЗ трансформатора, принимается по каталогу, %; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности нагрузки, подключенной ко вторичной цепи трансформатора; $S_{ном,т}$ — номинальная мощность трансформатора, кВ·А; $I_{ном,т}$ — номинальный ток трансформатора, А.

Задаваясь допустимым напряжением на зажимах электроприемников и пользуясь каталожными данными трансформаторов, можно составить таблицу допустимых (распо-

Таблица 11.1. Наибольшие допустимые (располагаемые) потери напряжения от шин ТП до наиболее удаленного электроприемника в жилых и общественных зданиях

Мощность трансформатора, кВт · А	Коэффициент загрузки трансформатора	Располагаемые потери напряжения, %, для коэффициента мощности						
		1	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
100	1	8,34	7,12	6,71	6,21	5,88	5,85	5,53
	0,9	8,51	7,41	7,04	6,49	6,3	6,09	5,97
	0,8	8,67	7,7	7,37	6,97	6,71	6,52	6,43
	0,7	8,84	7,98	7,7	7,35	7,12	6,96	6,87
	0,6	9,01	8,27	8,03	7,73	7,53	7,39	7,32
250	1	8,52	7,27	6,84	6,31	5,94	5,71	5,57
	0,9	8,67	7,55	7,15	6,68	6,36	6,14	6,02
	0,8	8,82	7,82	7,47	7,05	6,75	6,57	6,46
	0,7	8,96	8,09	7,79	7,52	7,16	7	6,9
	0,6	9,11	8,36	8,11	7,79	7,57	7,44	7,35
400	1	8,63	7,37	6,93	6,37	5,99	5,76	5,6
	0,9	8,77	7,64	7,24	6,74	6,4	6,18	6,04
	0,8	8,9	7,89	7,6	7,09	6,79	6,61	6,48
	0,7	9,04	8,16	7,85	7,46	7,19	7,03	6,92
	0,6	9,18	8,42	8,16	7,82	7,6	7,46	7,36
630—1000	1	8,79	7,19	6,6	5,87	5,34	4,98	4,73
	0,9	8,91	7,48	6,94	6,29	5,81	5,49	5,26
	0,8	9,03	7,76	7,28	6,70	6,28	5,99	5,79
	0,7	9,15	8,03	7,62	7,12	6,74	6,49	6,31
	0,6	9,27	8,31	7,96	7,52	7,21	6,99	6,84

лагаемых) потерь напряжения при различных значениях $\cos \varphi$, которой удобно пользоваться при проектировании.

Таблица 11.1 составлена исходя из требуемого для сетей общественных и жилых зданий номинального напряжения $U_{уд,э} = 95\%$.

Приведенные наибольшие допустимые (располагаемые) потери напряжения являются предельными и учитывают лишь требования ПУЭ о наибольших допустимых отклонениях напряжения на зажимах электроприемников от номинального. В ряде случаев эти предельные значения могут оказаться выше значений, отвечающих наименьшим приведенным затратам, т.е. экономически выгодных и соответствующих оптимальным схемам сетей. При проектировании следует стремиться к выбору схем, близких к оптимальным значениям допустимых потерь напряжения и их распределению по элементам сети.

В случаях, когда по конструктивным соображениям или из условий надежности электроснабжения и другим причинам принимаются схемы, отличающиеся от оптимальных, определяющими становятся значения, приведенные в табл. 11.1, которые при всех условиях не могут быть превышены. В сложных случаях целесообразно выполнять варианты расчеты.

11.4. АКТИВНОЕ И ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДОВ

Активное сопротивление проводников из цветных металлов, Ом, определяется по формуле

$$r = L \cdot 10^3 / (\gamma s), \quad (11.5)$$

где L — длина проводника, км; γ — удельная проводимость, может приниматься с учетом некоторого удлинения жил проводов за счет скрутки проволок, для алюминия $32 \text{ м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$; s — сечение провода, мм^2 .

Значения активного сопротивления 1 км алюминиевых проводов и кабелей r_0 в зависимости от сечения при $\theta = 20^\circ \text{C}$ даны ниже:

Сечения, мм^2	2,5	4	6	10	16	25	35
Активные сопротивления, Ом/км	12,6	7,9	5,26	3,16	1,98	1,28	0,92

Продолжение

Сечения, мм^2	50	70	95	120	150	185	240
Активные сопротивления, Ом/км	0,64	0,46	0,34	0,27	0,21	0,17	0,132

Примечание. По предварительным данным, r_0 новых марок алюминиевых проводов можно принимать для сечений 2 мм^2 — 15,6; 3 мм^2 — 10,4; 5 мм^2 — 6,25; 8 мм^2 — 3,9 Ом/км.

Для практических расчетов можно принимать следующие значения индуктивных сопротивлений x_0 проводов и кабелей: при прокладке проводов в трубах и каналах строительных конструкций, на лотках пучками, а также бронированных и небронированных кабелей трехфазных, четырехпроводных линий для сечения до 6 мм^2 — 0,1 Ом/км на фазу; то же до 16 мм^2 — 0,07—0,09 Ом/км; то же выше 16 мм^2 — 0,06 Ом/км; при прокладке проводов на роликах или изоляторах, а также при выполнении шинопроводов — 0,2—0,25 Ом/км на фазу.

11.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ С УЧЕТОМ АКТИВНОГО И ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРОВОДОВ

Прежде чем перейти к изложению методов расчета потерь напряжения в сетях, целесообразно рассмотреть простейшую векторную диаграмму для линии с нагрузкой на конце.

Схема линии и отвечающая ей векторная диаграмма показаны на рис. 11.2. На диаграмме отрезок Oc представляет собой вектор фазного напряжения $U_{\phi 1}$ в начале линии, отрезок Oa — вектор фазного напряжения $U_{\phi 2}$ в конце линии. Под углом φ к нему отложен в некотором масштабе вектор тока нагрузки I . Вектор тока отстает от вектора напряжения. Отрезок ab , параллельный вектору тока I , равен активной составляющей падения напряжения в линии I_r . От точки b перпендикулярно вектору I_r отложена индуктивная составляющая падения напряжения в линии I_x — отрезок bc .

Из треугольника abc видно, что отрезок ac представляет собой геометрическую сумму падений напряжения в активном и индуктивном сопротивлениях одной фазы линии, т. е. полное падение напряжения I_z , где $z = \sqrt{r^2 + x^2}$.

Падение и потеря напряжения. Для нормальной работы электроприемников важно абсолютное значение напряжения. Поэтому расчетом определяется не геометрическая разность напряжений в начале и конце линии, называемая *падением напряжения*, а алгебраическая разность (на диаграмме $ae = U_{\phi 1} - U_{\phi 2}$), которую называют *потерей напряжения*.

Для упрощения расчетов за потерю напряжения принимают не отрезок ae , а отрезок af , являющийся проекцией вектора падения напряжения I_z на направление вектора напряжения в конце линии $U_{\phi 2}$. Ошибка при указанном допущении не превосходит 2—3 %. Из векторной диаграммы легко вычисляется потеря напряжения ΔU_{ϕ} , В:

$$\Delta U_{\phi} = I(r \cos \varphi + x \sin \varphi). \quad (11.6)$$

Потеря напряжения при трехфазной нагрузке. Теперь легко перейти от потерь напряжения при однофазной нагрузке к потере напряжения при трехфазной нагрузке, имея в виду, что линейная потеря напряжения, В:

$$\Delta U = \sqrt{3} \Delta U_{\phi}; \quad \Delta U = \sqrt{3} I(r \cos \varphi + x \sin \varphi).$$

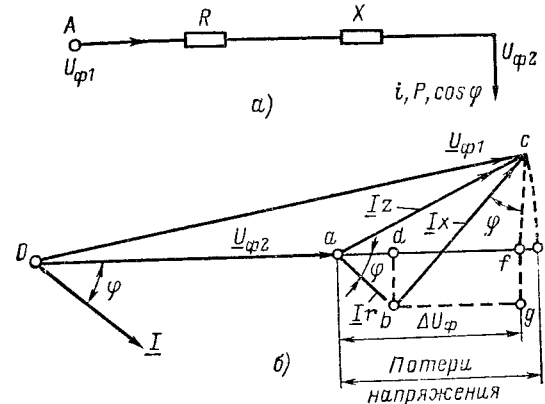


Рис. 11.2. Схема (а) и векторная диаграмма (б) линии трехфазного тока с нагрузкой на конце

Для практических расчетов удобнее пользоваться той же формулой, где потеря напряжения выражена в процентах и где используются табличные данные величин r_0 и x_0 . Тогда формула примет вид

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 100 IL (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) / U_{\text{ном}}. \quad (11.7)$$

Нагрузка на конце линии может быть задана не током, а мощностью. Тогда формула (11.7) принимает вид, %:

$$\Delta U = 10^5 PL (r_0 + x_0 \tan \varphi) / U_{\text{ном}}^2, \quad (11.8)$$

где P — мощность, кВт; L — длина линии, км.

Формулы (11.7) и (11.8) являются основными для расчетов трехфазных сетей по потере напряжения, учитывающих как активное, так и индуктивное сопротивление проводов. Ниже без выводов приведены формулы для определения потери напряжения в линии с несколькими нагрузками. Вывод этих формул, а также подробная методика выполнения расчетов приводятся в курсах электрических сетей.

Для нагрузок, приложенных в отдельных точках линии, %:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \sum_{i=1}^n (i_{ma} r_0 + i_{mp} x_0) L_m; \quad (11.9)$$

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_{\text{НОМ}}^2} \sum_1^n (p_m r_0 + q_m x_0) L_m; \quad (11.10)$$

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_{\text{НОМ}}^2} \sum_1^n p_m (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi_m) L_m. \quad (11.11)$$

Для нагрузок на участках линии, %:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{\text{НОМ}}} \sum_1^n (I_{ma} r_0 + I_{mp} x_0) l_m; \quad (11.12)$$

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_{\text{НОМ}}^2} \sum_1^n (P_m r_0 + Q_m x) l_m; \quad (11.13)$$

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_{\text{НОМ}}^2} \sum_1^n P_m (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi'_m) l_m, \quad (11.14)$$

где i_{ma} — активная составляющая тока нагрузки, приложенной в точке m линии, А; i_{mp} — то же реактивная составляющая, А; I_{ma} — активная составляющая тока на участке m линии, А; I_{mp} — то же реактивная составляющая, А; p_m — активная нагрузка, приложенная в точке m линии, кВт; q_m — то же реактивная нагрузка, квар; P_m — активная нагрузка на участке m линии, кВт; Q_m — то же реактивная нагрузка, квар; l_m — длина участка m линии, км; L_m — расстояние от точки питания до точки m приложения нагрузки p_m , км; φ_m — угол сдвига фаз нагрузки в точке m линии; φ'_m — угол сдвига фаз на участке m линии.

Схема линии с несколькими нагрузками, поясняющая формулы, приведенные выше, показана на рис. 11.3.

В частном случае, наиболее характерном для сетей жи-

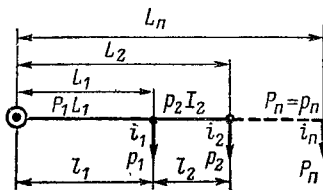


Рис. 11.3. Схема линии с несколькими нагрузками

лых зданий, когда нагрузки практически имеют один и тот же коэффициент мощности и одинаковые сечения на всех участках, формулы (11.11) и (11.14) упрощаются и принимают следующий вид, %:

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_{\text{НОМ}}^2} (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \sum_1^n p_m L_m; \quad (11.15)$$

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_{\text{НОМ}}^2} (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi') \sum_1^n P_m l_m. \quad (11.16)$$

По этим формулам ведутся расчеты линий с любым числом нагрузок и учетом индуктивного сопротивления проводов. При небольших длинах участков произведения $P l$ (рЛ) часто определяются в киловаттах на метр (кВт/м). Структура формул при этом не изменяется, но r_0 и x_0 принимаются в омах на метр (Ом/м).

11.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ БЕЗ УЧЕТА ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДОВ

В ряде случаев индуктивное сопротивление проводов можно не учитывать (табл. 11.2).

Таблица 11.2. Наибольшие сечения алюминиевых проводов и значения коэффициентов мощности, при которых можно не учитывать индуктивные сопротивления проводов при расчетах трехфазной сети 380 В

Вид проводов	Сечение проводов, мм², при коэффициенте мощности		
	0,9	0,8	0,7
Провода алюминиевые, проложенные в трубах, каналах, на логках пучками, а также кабели	70	50	25
Провода, проложенные на роликах и изоляторах	25	16	10

Расчет сетей значительно упрощается, если его проводят без учета индуктивного сопротивления. Для сетей жилых и общественных зданий это вполне обоснованно, так как расчеты ведутся для периода наибольших нагрузок,

когда коэффициенты мощности высоки и достигают значений в осветительных сетях и сетях питания квартир, силовых потребителей общественных зданий (кроме лифтов) 0,9 и даже 0,95. Кроме того, при проводках в каналах и трубах индуктивные сопротивления проводов малы. При этом расчетная формула для потерь напряжения, %, принимает вид

$$\Delta U = \frac{10^5 r_0}{U_{\text{ном}}^2} \sum_1^n P_m l_m. \quad (11.17)$$

Имея в виду, что активное сопротивление 1 м проводника равно

$$r_0 = \frac{1}{\gamma s},$$

можно написать

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_{\text{ном}}^2 \gamma s} \sum_1^n P_m l_m. \quad (11.18)$$

Обозначим далее величину $U_{\text{ном}}^2 \gamma / 10^5$, зависящую только от материала проводов и напряжения сети, через C . Формула примет вид

$$\Delta U = \left(\sum_1^n P_m l_m \right) / Cs. \quad (11.19)$$

При заданном ΔU из формулы (11.19) легко получить значение требуемого сечения проводов из условий допустимых потерь напряжения:

$$s = \frac{\sum_1^n P_m l_m}{C \Delta U}. \quad (11.20)$$

Для двухфазных и однофазных линий можно вывести аналогичные формулы, в которых изменяться будут лишь величины C (табл. 11.3).

В расчетных формулах для определения потери напряжения величины $Pl(pL)$, $\Sigma Pl(\Sigma pL)$ называют моментом нагрузки или суммой моментов нагрузок и часто обозначают буквой M или ΣM , кВт·м. При нескольких сосредоточенных нагрузках или если участок линии

Таблица 11.3. Коэффициенты C для алюминиевых проводов

Номинальное напряжение сети, В	Схема сети	Коэффициент C
380/220	Трехфазная с нулевым проводом	46
380/220	Двухфазная с нулевым проводом	20
220	Однофазная двухпроводная	7,7
3×36	Трехфазная без нуля	0,4
36	Однофазная двухпроводная	0,21
24	То же	0,09
12	»	0,023

имеет равномерно распределенную по длине нагрузку, можно сумму моментов заменить моментом одной нагрузки с длиной линии, равной приведенной длине. Так, например, если на участках линии длиной l_1 , l_2 , l_3 нагрузки соответственно равны P_1 , P_2 и P_3 , то

$$P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3 = (P_1 + P_2 + P_3) l_{\text{прив}},$$

откуда

$$l_{\text{прив}} = \frac{P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3}{P_1 + P_2 + P_3}. \quad (11.21)$$

В частности, для нагрузки, равномерно распределенной по длине линии, м,

$$l_{\text{прив}} = l_0 + l/2, \quad (11.22)$$

где l_0 — расстояние от пункта питания до первой нагрузки, м; l — длина участка с равномерно распределенной нагрузкой, м.

В справочниках даются вычисленные значения потерь напряжения по моментам нагрузки, упрощающие расчеты сети.

11.7. РАСЧЕТ СЕТИ ПО ПОТЕРЯМ НАПЯЖЕНИЯ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОЙ НАГРУЗКЕ ФАЗ

Электрические сети жилых и общественных зданий характеризуются неравномерной нагрузкой даже при правильном распределении электроприемников по фазам, что определяется случайным характером нагрузок. Неравномерная нагрузка фаз смещает нулевую точку сети, вызывает появление тока в нулевом проводе, который достигает в жилых домах 40—50 % тока в фазном проводе. Потери

ри напряжения в такой сети неодинаковы по фазам, в связи с чем может возникнуть необходимость в проверке режимов напряжений в каждой фазе.

Потери напряжения в каждой из фаз, %, могут определяться по формуле (например, для фазы A)

$$\Delta U_A = \frac{M_A}{2C_2 s_A} + \frac{M_A - 0,5(M_B + M_C)}{2C_2 s_0}, \quad (11.23)$$

где M_A — момент нагрузки рассматриваемой фазы A , кВт·м; M_B и M_C — моменты нагрузки двух других фаз, кВт·м; s_A — сечение провода рассматриваемой фазы, мм²; s_0 — сечение нулевого провода, мм²; C_2 — коэффициент формулы (11.20) для двухпроводной линии по табл. 11.3 (для алюминия при $U_\phi = 220$ В $C_2 = 7,7$).

Первый член формулы дает потери напряжения в фазном, второй — в нулевом проводе. Формула (11.23) применяется при включении электроприемников на фазное напряжение. Однако в некоторых случаях возможно включение электроприемников (например, мощных металлогалогенных ламп, рентгеновских аппаратов, прожекторов и т. п.) на линейное напряжение. При существенной неравномерности нагрузки необходимо определить токи и сечения проводников отдельно для каждой фазы. Для трехфазных линий с включением нагрузок на линейное напряжение можно воспользоваться следующими выражениями для определения линейных токов I_A , I_B , I_C , которые зависят от порядка следования фаз ($A - B - C$ или $C - B - A$).

При прямом следовании фаз

$$I_A = \sqrt{I_{AB}^2 + I_{CA}^2 + 2I_{AB} I_{CA} \sin(\varphi_{AB} - \varphi_{CA} + 30^\circ)}; \quad (11.24)$$

$$I_B = \sqrt{I_{BC}^2 + I_{AB}^2 + 2I_{BC} I_{AB} \sin(\varphi_{BC} - \varphi_{AB} + 30^\circ)}; \quad (11.25)$$

$$I_C = \sqrt{I_{CA}^2 + I_{BC}^2 + 2I_{CA} I_{BC} \sin(\varphi_{CA} - \varphi_{BC} + 30^\circ)}. \quad (11.26)$$

При обратном чередовании фаз в каждой из формул (11.24), (11.25) и (11.26) необходимо поменять индексы углов (AB на CA , BC на AB , CA на BC). Ввиду того что при проектировании порядок чередования фаз неизвестен, определяют линейные токи для обоих вариантов следования фаз.

Эта задача может быть решена с использованием символического метода и преобразованием звезды в треугольник и обратно.

11.8. РАСЧЕТ ПРОВОДОВ ПО НАИМЕНЬШЕМУ РАСХОДУ ЦВЕТНОГО МЕТАЛЛА

При расчете линии, имеющей ответвления, при заданной общей потере напряжения возникает вопрос, как распределить заданную потерю напряжения между участками линии. Здесь возможны различные решения, однако всегда есть оптимальное, при котором обеспечивается наименьший расход цветного металла проводов. Теоретически эта задача решается путем составления уравнения, связывающего объем металла всех проводов линии с параметрами линии, в том числе с переменной потерей напряжения на одном из участков.

Если взять первую производную объема металла по этой переменной и приравнять ее нулю, можно получить значение сечения этого участка, отвечающее наименьшему расходу цветного металла проводов. Однако этот метод весьма трудоемок и практически распространения в проектировании не получил. С достаточной точностью можно при определении сечения проводов каждого участка, мм², пользоваться приближенной формулой

$$s = \frac{M_{\text{прив}}}{\Delta U}, \quad (11.27)$$

где $M_{\text{прив}} = \Sigma M + \Sigma \alpha m$ — приведенный момент нагрузки, кВт·м; ΣM — сумма моментов нагрузки данного и всех последующих по направлению потока энергии участков (включая ответвления с тем же числом проводов в линии, что и данный участок); $\Sigma \alpha m$ — сумма моментов нагрузки всех последующих по направлению потока энергии участков с другим числом проводов, умноженных на коэффициент приведения моментов α , принимаемый по табл. 11.4.

Таблица 11.4. Коэффициенты приведения моментов

Линия	Ответвление	Коэффициент приведения моментов α
Трехфазная с нулевым проводом	Однофазное	1,85
То же	Двухфазное с нулевым проводом	1,39
Двухфазная с нулевым проводом	Однофазное	1,33
Трехфазная без нулевого провода	Двухфазное (двухпроводное)	1,15

Распределение допустимых потерь напряжения по участкам сети целесообразно производить по условиям наибольшей экономичности (по наименьшим расчетным затратам). Эти вопросы рассматриваются в гл. 16. Во многих случаях условие экономии цветных металлов не соответствует минимальным расчетным затратам, однако вопросы экономии цветных металлов все еще являются актуальными, поэтому расчет сети по наименьшему расходу цветного металла следует считать целесообразным.

11.9. РАСЧЕТ ПРОСТОЙ ЗАМКНУТОЙ СЕТИ

В ряде случаев при выборе схем питающих линий квартир либо внутриквартирной групповой сети целесообразно применять простые замкнутые сети. Расчет такой сети может выполняться, как обычной разомкнутой, если предварительно определить точку токораздела. Простая замкнутая сеть с несколькими сосредоточенными нагрузками и однородным сечением представлена на рис. 11.4.

Мощность, кВт (или ток), передаваемая по линии от источника A , может быть определена по формуле

$$P_A = \frac{p_1 L_1 + p_2 L_2 + p_3 L_3}{L_4}. \quad (11.28)$$

Расчетом определяется точка, нагрузка которой питается от двух источников (зачерненный треугольник на рис. 11.4). Эта точка называется точкой токораздела. Сумма составляющих нагрузки от источников питания A и B равна $P_A + P_B = p_1 + p_2 + p_3$.

После определения точки токораздела замкнутая линия условно разрезается в этой точке и дальнейший расчет ведется, как для двух разомкнутых линий.

С принципиальной точки зрения выполнение расчета замкнутой внутридомовой сети осложняется тем обстоятельством, что из-за перетекания токов по участкам сети задача становится неопределенной, поскольку число квар-

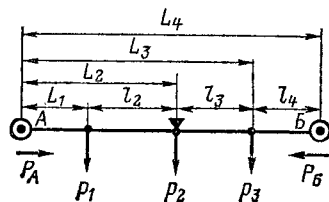


Рис. 11.4. Схема простой замкнутой сети

тир, участвующих в создании нагрузки на данном участке, неизвестно. Точное решение задачи возможно лишь при применении специальных методов. Использование их требует трудоемких расчетов, выполнение которых наиболее целесообразно на ЭВМ. Тем не менее изложенная методика расчета при простой замкнутой сети дает приближенные, но возможные для использования результаты, позволяющие оценить преимущества замкнутой сети.

11.10. ОСОБЕННОСТИ ТРЕХФАЗНЫХ ЧЕТЫРЕХПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ОСВЕЩЕНИЯ С ГАЗОРАЗРЯДНЫМИ ЛАМПАМИ

Как известно, нелинейность характеристик люминесцентных, ртутных и других газоразрядных ламп, а также наличие в их цепи элементов индуктивности и емкости вызывают появление высших гармонических составляющих тока, существенно изменяющих нагрузку нулевого провода даже при равномерной нагрузке фаз. Исследования показали, что ток в нулевом проводе может достигать значений, близких к значению тока в фазном проводе. При коэффициенте мощности примерно 0,95, обусловленном применением светильников с компенсацией $\cos \phi$, что обязательно для жилых и общественных зданий, ток в нулевом проводе достигает 85—87 % фазного. Вместе с тем надо учитывать, что частота переменного тока в нулевом проводе равна трехкратной частоте тока в фазных проводах, т.е. 150 Гц.

Математический анализ вопроса с точным учетом всех факторов весьма сложен. В связи с этим были предприняты попытки рассмотреть вопрос о потерях напряжения в таких сетях с учетом ряда допущений, приемлемых для практических целей: а) предполагается, что форма кривой тока близка к трапецеидальной; б) составляющие тока выше третьей гармоники не учитываются; в) напряжение в конце линии принято синусоидальным, что близко к действительности. Мгновенные значения фазных напряжений в конце линии, B , могут быть выражены следующим образом:

$$u_{K1} = \sqrt{2} U_K \sin \omega t;$$

$$u_{K2} = \sqrt{2} U_K \sin (\omega t - 120^\circ);$$

$$u_{K3} = \sqrt{2} U_K \sin (\omega t - 240^\circ),$$

где U_K — действующее значение фазного напряжения в конце линии, B .

Мгновенное значение фазного напряжения в начале линии определяется как сумма мгновенных значений напряжения в конце линии и падений напряжения, вызываемых токами первой и третьей гармоник. При этом учтем, что в нулевом проводе протекает сумма токов высших гармоник, кратных трем, и взаимно уничтожаются все высшие гармонические, сдвинутые на 120 и 240°.

С учетом сказанного мгновенное значение напряжения первой фазы в начале линии, В, при одинаковых сечениях фазных и нулевого проводников может быть выражено уравнением

$$U_{н1} = U_{н} \sqrt{2} \sin \omega t + a_1 I \sqrt{2} r \sin (\omega t - \varphi) + \\ + a_1 I \sqrt{2} x \cos (\omega t - \varphi) + a_3 I \sqrt{2} r \sin (3\omega t - \varphi_3) + \\ + a_3 I \sqrt{2} 3x \cos (3\omega t - \varphi_3) + 3a_3 I \sqrt{2} 3x \cos (3\omega t - \varphi_3),$$

где a_1 — коэффициент амплитуды первой гармоники; a_3 — то же третьей гармоники; φ — угол сдвига фаз между током и напряжением на нагрузке, принимаемый равным сдвигу фаз первой гармоники; φ_3 — угол сдвига фаз третьей гармоники.

После соответствующих преобразований и определения коэффициента $a_3=0,33$ (предполагая, что ток в нулевом проводе равен фазному) и $a_1 = \sqrt{1-a_3^2}=0,94$, а также переходя к действующим значениям, получим формулу для напряжения в конце линии, В:

$$U_{к} = \sqrt{U_{н}^2 + 0,88I^2 (r \cos \varphi + x \sin \varphi)^2 - 2,64I^2 r^2 - \\ - 16,72I^2 x^2 - 0,94I (r \cos \varphi + x \sin \varphi)}. \quad (11.29)$$

Потеря напряжения, В, легко определяется как разность напряжений в начале и конце линии:

$$\Delta U = U_{н} - U_{к} \quad (11.30)$$

и в процентах

$$\Delta U = \frac{U_{н} - U_{к}}{U_{н}} 100. \quad (11.31)$$

Следует, однако, помнить, что линейная потеря напряжения в данном случае не может быть получена путем умножения ΔU на $\sqrt{3}$, так как в линейных напряжениях исче-

зают гармонические составляющие, кратные трем, но зато действуют все остальные нечетные гармоники.

В ряде случаев возможно применение некомпенсированных балластных устройств, при которых ток в нулевом проводе составляет около 50 % фазного, поэтому формула (11.29) будет иметь несколько иной вид, В:

$$U_{к} = \sqrt{U_{н}^2 + 0,96I^2 (r \cos \varphi + x \sin \varphi)^2 - 1,44I^2 r^2 - 5I^2 x^2 - \\ - 0,98I (r \cos \varphi + x \sin \varphi)}. \quad (11.32)$$

Для проектной практики важно знать, в каких случаях целесообразно вести расчеты потерь напряжения по относительно сложным выражениям (11.29) и (11.32). Для этой цели выражения (11.29) и (11.32) были несколько преобразованы, причем первые их части разложены в ряд и ограничены первыми двумя членами, вторые части сохранены без изменений. Это позволило вывести формулы предельных длин кабельных и воздушных линий, при которых ошибка по сравнению с расчетом по обычным формулам не превышает 10 % (табл. 11.5). Если приведенные длины превышают указанные в табл. 11.5, расчеты целесообразно вести по выражениям (11.29) и (11.32).

Приведенные в табл. 11.5 предельные длины при токах нагрузки I , отличающихся от максимально допустимых, должны быть пересчитаны в отношении $I_{доп}/I$.

Таблица 11.5. Предельные длины кабельных и воздушных линий до 1 кВ, для которых расчеты потерь напряжения могут проводиться без учета высших гармонических тока

Сечение, мм ²	Ток нагрузки, А	Предельная длина кабельной линии, м		Ток нагрузки, А	Предельная длина воздушной линии, м	
		cos φ = 0,9	cos φ = 0,5		cos φ = 0,9	cos φ = 0,5
4	38	116	76	—	—	—
6	46	143	98	—	—	—
10	65	170	116	—	—	—
16	90	198	140	105	154	139
25	115	250	180	135	157	181
35	135	286	225	170	136	197
50	165	321	277	215	106	199
70	200	342	332	265	78	183
95	240	340	386	320	57	155
120	270	327	434	375	43	151

Отметим в заключение, что высшие гармонические напряжения и тока увеличивают потери электроэнергии и сокращают срок службы изоляции. Вновь подчеркнем, что допустимые нагрузки проводов трех фазных линий, прокладываемых в каналах или трубах, принимаются и при равномерной нагрузке фаз, как для четырех проводов в одной трубе.

Следует также принимать схему соединений трансформаторов питающих газоразрядные источники света (при удельном весе их нагрузки более 20 %, что бывает часто при питании общественных зданий), треугольник — звезда, а при использовании трехжильных кабелей с алюминиевой оболочкой принимать такие сечения, при которых пропускная способность оболочки, используемой в качестве рабочего нуля, не ниже расчетного тока линии. В некоторых случаях это может вызвать повышение сечения кабелей на ступень. Отметим, что вопросы влияния высших гармонических в осветительных сетях с газоразрядными источниками света подлежат в дальнейшем глубокому изучению.

Пример 11.1. Определить потерю напряжения в конце трехфазной линии 380/220 В, проложенной в трубах, схема которой приведена на рис. 11.5 ($\cos \varphi = 0,9$).

Решение. 1. Определяем активное сопротивление провода сечением 50 мм²:

$$r_0 = 0,64 \text{ Ом/км.}$$

Индуктивное сопротивление для сечений выше 16 мм² принимается $x_0 = 0,06 \text{ Ом/км.}$

2. Определяем потерю напряжения по формуле (11.15):

$$\Delta U = \frac{10^5}{380^2} (0,64 + 0,06 \cdot 0,48) (20 \cdot 0,04 + 20 \cdot 0,065 + 20 \cdot 0,09) = 1,8 \text{ В.}$$

3. Определяем потерю напряжения по формуле (11.16):

$$\Delta U = \frac{10^5}{380^2} (0,64 + 0,06 \cdot 0,48) (60 \cdot 0,04 + 40 \cdot 0,025 + 20 \cdot 0,025) = 1,8 \text{ В.}$$

Результаты расчетов по формулам (11.15) и (11.16) совершенно одинаковы.

Пример 11.2. Выполнить расчет питающей четырехпроводной линии в 16-этажном жилом доме. Дом оборудован стационарными электрическими плитами установленной мощностью 5,8 кВт. Напряжение сети 380/220 В; допустимую потерю напряжения в линии принять 2,3 %. Защиту линии и стояков выполнить автоматическими выключателями

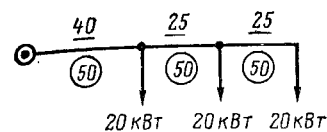


Рис. 11.5. Схема к примеру 11.1. Подчеркнутые цифры — длина, м, в кружках — сечения проводов, мм²

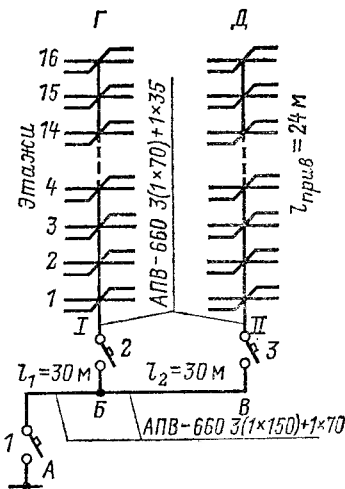


Рис. 11.6. Схема к примеру 11.2

с комбинированными расцепителями. На каждом этаже по четыре квартиры общей площадью по 45 м² каждая. Остальные исходные данные приведены на рис. 11.6. Провода проложены в трубах и каналах строительных конструкций.

Решение. 1. Определяем расчетную нагрузку на стояке. Для этого, пользуясь данными табл. 3.1, принимаем удельную нагрузку квартиры при общем количестве квартир 64, присоединенных к стояку, $P_{уд} = 1,3 \text{ кВт/квартира}$. Эта же нагрузка будет на участке $БВ$. При этом учитываем, что для квартир площадью до 55 м² надбавка к удельной нагрузке не производится. Следовательно, $P_{БГ} = P_{ВД} = 1,3 \cdot 64 = 83,2 \text{ кВт}$.

2. Определяем расчетную нагрузку на участке $АБ$ (128 квартир).

На основании табл. 3.1 с интерполяцией $P_{уд} = 1,04 \text{ кВт/квартира}$. Таким образом, $P_{АБ} = 1,04 \cdot 128 = 133 \text{ кВт}$.

3. Определяем расчетные токи, принимая $\cos \varphi = 0,98$ в соответствии с указаниями, приведенными в табл. 3.3,

$$I_{БГ} = I_{ВД} = \frac{83,2 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,98} = 129 \text{ А;}$$

$$I_{АБ} = \frac{133 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,98} = 206 \text{ А.}$$

4. В соответствии с условием принимаем автоматические выключатели с комбинированными расцепителями серии АЗ7 (см. табл. 10.4). Для выключателей 2 и 3 $I_{авт} \geq I_{max}$ или $I_{авт} \geq 129 \text{ А}$. Принимаем трех-

полюсный автоматический выключатель типа АЗ716ФУЗ на номинальный ток 160 А с расцепителем $I_p = 160$ А.

Для выключателя $I_{авт} \geq 206$ А. Принимаем АЗ726ФУЗ на номинальный ток 250 А с расцепителем $I_p = 250$ А.

Принятые номинальные токи расцепителя отличаются друг от друга на две ступени стандартной шкалы, что согласно времятоковым характеристикам этих аппаратов обеспечивает селективную работу защиты.

5. Выбираем предварительно сечения проводов по условиям допустимого нагрева. С этой целью, пользуясь ПУЭ, принимаем сечения стояков (участки БГ и ВД), выполненных проводами марки АПВ-660 сечением 50 мм² ($I_{доп} = 130$ А). Учитывая, что при сечениях более 25 мм² сечение нулевого провода может приниматься равным половине сечения фазного провода, сечение нулевого провода принимаем равным 25 мм². Поправки на температуру окружающей среды не вводим, поскольку температура в доме не превышает 25 °С.

6. Проверяем принятое сечение на соответствие характеристикам защитных аппаратов. По табл. 10.8 с учетом того, что данная линия защищается от перегрузки, следует, что $K_3 = 1$, поэтому $I_{доп} = 160$ А.

По условию соответствия току защитного аппарата приходится принять сечение фазного провода 70 мм² ($I_{доп} = 165$ А) и сечение нулевого провода 35 мм². Записываем на схеме АПВ-660 3(1×70)+1×35.

7. Аналогично выбираем и проверяем сечение линии АВ:

а) по нагреву принимаем предварительно сечение провода марки АПВ-660 3(1×120)+1×50, для которых $I_{доп} = 220$ А;

б) $I_{доп} \geq 250$ А; и в данном случае по условию соответствия защитному аппарату приходится принять АПВ-660 3(1×150)+1×70 ($I_{доп} = 255$ А).

8. Производим расчет линии по потере напряжения. Учитывая, что коэффициент мощности сети равен 0,98, расчет ведем без учета индуктивного сопротивления проводов.

Распределение допустимой потери напряжения между отдельными участками линии целесообразно производить из условий минимальных затрат цветного металла. Расчеты показали, что допустимая потеря напряжения должна быть принята с округлением на участке АВ 1 % и на участке ВВД 1,3 %. Тогда

$$\Delta U_{AB} = \frac{PI}{C_s} = \frac{133 \cdot 30}{46 \cdot 150} = 0,73\%;$$

$$\Delta U_{БВД} = \frac{83,2 \cdot 30}{46 \cdot 150} + \frac{83,2 \cdot 24}{46 \cdot 70} = 0,96\%;$$

$$\Sigma \Delta U_{AD} = 0,73 + 0,96 = 1,69\%,$$

т. е. меньше допустимого по условию примера значения 2,3 %;

$$\Delta U_{БГ} = \frac{83,2 \cdot 24}{46 \cdot 70} = 0,6\%;$$

$$\Sigma \Delta U_{AG} = 0,73 + 0,6 = 1,33\%.$$

По результатам расчетов видно, что определяющим фактором при выборе сечений проводов в данном случае оказались требования по соотношениям допустимых токовых нагрузок и номинальных токов расцепителей автоматических выключателей.

Пользуясь допущением ПУЭ (см. табл. 10.8), можно было бы сохранить сечения 50 и 120 мм², поскольку допустимые токи этих сечений больше, чем токи нагрузки. Однако в сетях питания квартир, требующих защиты не только от КЗ, но и от перегрузки, как правило, этими допущениями не пользуются. При этом учитывается невозможность контроля токовой нагрузки в условиях жилого здания. Кроме того, реконструкция электросети в жилых зданиях обычно производится редко, поэтому удельные нагрузки могут со временем превысить установленные на перспективу. Нетрудно видеть, что столь значительное округление в меньшую сторону может привести к недопустимому перегреву жил проводов (см. гл. 9).

В данном примере, поскольку сеть защищается не только от КЗ, но и от перегрузки, должен быть выполнен расчет на срабатывание аппаратов защиты в конце линии при однофазных КЗ. Методика такого расчета приведена в гл. 15.

Пример 11.3. Определить сечение проводов, проложенных в трубе, и выбрать защитный аппарат на ответвление к трехфазному короткозамкнутому электродвигателю мощностью 17 кВт.

Номинальный ток электродвигателя $I_{ном,э} = 32,6$ А; кратность пускового тока $K_t = 7$. Условия пуска легкие. Температура в помещении 25 °С. Линия подлежит защите только от КЗ.

Решение. 1. По условиям нагрева принимаем предварительно сечение $s = 10$ мм² ($I_{доп} = 47$ А);

2. Выбираем предохранители типа ПН-2 (см. табл. 10.1). Плавкие вставки выбираются по двум условиям (см. табл. 10.7):

$$I_{вс} \geq I_{ном,э} = 32,6 \text{ А};$$

$$I_{вс} = \frac{I_{пуск}}{\alpha} = \frac{7 \cdot 32,6}{2,5} = 91 \text{ А}.$$

Принимаем предохранители ПН-2-100 с номинальным током плавкой вставки $I_{вс} = 100$ А.

3. Проверяем принятое сечение на соответствие номинальному току плавкой вставки. При защите линии только от КЗ (см. табл. 10.8) допустимый ток проводника должен быть

$$I_{доп} = 0,33 I_{вс} = 0,33 \cdot 100 = 33 \text{ А},$$

$$33 \leq 47 \text{ А}.$$

Таким образом, сохраняется сечение, выбранное из условий допустимого нагрева АПВ-660 3(1×10).

4. Для защиты отсечения к данному электродвигателю выбираем трехполюсный автоматический выключатель серии АЕ20 (см. табл. 10.2). Принимаем номинальный ток теплового максимального расцепителя регулируемого автоматического выключателя по двум условиям (см. табл. 10.7):

$$I_p \geq 1,25I_{ном,э} = 1,25 \cdot 32,6 = 41 \text{ А};$$

$$I_{уст,э,о} \geq 1,2I_{пуск} = 1,2 \cdot 7 \cdot 32,6 = 264 \text{ А}.$$

Принимаем по табл. 10.2 трехполюсный автоматический выключатель регулируемый с температурной компенсацией АЕ2046-10Р без дополнительных контактов и расцепителей на номинальный ток 63 А с номинальным током теплового расцепителя $I_p = 50 \text{ А}$ и уставкой номинального тока расцепителя $0,9 \cdot 50 = 45 \text{ А}$. Ток уставки электромагнитного расцепителя мгновенного действия $I_{уст,э,о}$ данных автоматических выключателей составляет $12I_p$, т. е. $12 \cdot 50 = 600 > 264 \text{ А}$.

5. Проверяем принятое сечение на соответствие защитному аппарату. Для этого определяем ток срабатывания комбинированного расцепителя

$$I_{ср} = 1,25I_p = 1,25 \cdot 45 = 56 \text{ А}.$$

Согласно табл. 10.8 при защите только от КЗ допустимый ток проводника должен быть

$$I_{доп} \geq 0,8I_{ср} = 0,8 \cdot 56 = 44,8 \text{ А} < 47 \text{ А}.$$

Таким образом, определяющим является условие допустимого нагрева и сохраняется принятое сечение АПВ-660 3(1×10).

Глава двенадцатая

РАСЧЕТ СЕТЕЙ ПО УСЛОВИЯМ ПУСКА КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Качество электрической энергии характеризуется рядом параметров, термины и определения которых по ГОСТ 23875—88 приведены ниже.

Колебания напряжения — серия единичных изменений напряжения во времени.

Размах колебаний напряжения — величина, равная разности между наибольшим и наименьшим значениями напряжения за определенный интервал времени в установив-

шемся режиме работы источника, преобразователя электрической энергии или системы электроснабжения.

Частота изменений напряжения — число одиночных изменений напряжения в единицу времени.

Интервал между изменениями напряжения — интервал времени, в течение которого напряжение увеличивается или уменьшается между двумя следующими одно за другим установившимися значениями.

Как следует из этих определений, размах колебаний напряжения характеризуется формулой

$$\delta U = U_{max} - U_{min}$$

или в процентах $U_{ном}$

$$\delta U = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{ном}} 100;$$

частота определяется по формуле

$$f = m/t,$$

где m — количество изменений напряжения со скоростью изменений не более 1 % в секунду за время t .

Допустимые размахи напряжения по ГОСТ 13109—87 приведены на рис. 12.1: 1 — на вводах осветительных установок с лампами накаливания в помещениях, где требуется значительное зрительное напряжение, и в точках электрических сетей, к которым присоединяются потребители с такими установками; 2 — на вводах осветительных установок с лампами накаливания в остальных помещениях, в том числе в жилых зданиях и в точках электрических сетей, к которым присоединяют потребителей с такими установками; 3 — на вводах осветительных установок с люминесцентными лампами и других приемников электрической энергии и в точках электрических сетей, к которым присоединяют потребителей с такими установками и приемниками.

Характерным примером таких изменений напряжения в сети является снижение напряжения, вызываемое пуском короткозамкнутого асинхронного электродвигателя, пусковой ток которого в 4—8 раз больше его номинального тока. Из-за этого в первый момент пуска в сети возникает резкое снижение напряжения, длящееся сравнительно малое время, затем по мере разгона двигателя и уменьшения пускового тока напряжение снова повышается. Для лифтов можно принимать количество включений в час 80 для жилых домов и 100 — для общественных многоэтажных зданий.